



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Físicas**

**Escuela Profesional de Física**

**Validación del pronóstico de precipitaciones del  
modelo Global Forecast System (GFS) para la sierra  
norte y central del Perú entre diciembre de 2015 y  
enero de 2016**

**MONOGRAFÍA TÉCNICA**

**Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física**

Modalidad M3

**AUTOR**

**José Ricardo MESÍA GOTO**

**ASESOR**

**Mg. Melchor Nicolás LLOSA DEMARTINI**

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Mesías, J. (2018). *Validación del pronóstico de precipitaciones del modelo Global Forecast System (GFS) para la sierra norte y central del Perú entre diciembre de 2015 y enero de 2016*. Monografía Técnica para optar el título profesional de Licenciado en Física. Escuela Profesional de Física, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado  
Dirección General de Biblioteca y Publicaciones

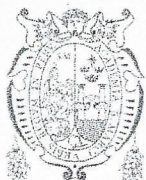
Dirección del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central



## Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor:	
Código ORCID del asesor:	<b>0000-0002-4493-0918</b>
DNI del autor:	<b>07634160</b>
Grupo de Investigación	
Institución que financia parcial o totalmente la investigación.	
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación.	Departamento de Lima, Cercado de Lima
Año o rango de años que la investigación abarcó:	Diciembre 2015 – Julio 2018.





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL  
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA**

Siendo las 9:00 horas del martes 31 de julio de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Lic. Felipe Sánchez Nolasco (Presidente), Lic. Arnulfo Guillen Guevara (Miembro), y el Mg. Melchor Nicolás Llosa Demartini (Asesor), se dió inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M3 – Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

**JOSÉ RICARDO MESIA GOTO**

Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al Bachiller José Ricardo Mesia Goto, a realizar una exposición del Trabajo de Monografía Técnica titulada: "Validación del pronóstico de precipitaciones del modelo Global Forecast System (GFS) para la sierra norte y central del Perú entre diciembre 2015 y enero 2016".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Asimismo, se verificó que el promedio obtenido por el bachiller en el VIII Ciclo de Actualización Profesional es de quince (15).

Al término de la deliberación del Jurado el Lic. Felipe Sánchez Nolasco, invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

15

NOTA DEL VIII CAP

17

NOTA DE LA SUSTENTACIÓN  
DE LA MONOGRAFÍA

16

PROMEDIO

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al Consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al Bachiller José Ricardo Mesia Goto En virtud de haber obtenido un promedio de... *die ci seis* ..... (16). Según el artículo 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Físicas. Siendo las ..... 10 ..... Horas, se levanta la Sesión.

Lic. Felipe Sánchez Nolasco  
PRESIDENTE

Lic. Arnulfo Guillen Guevara  
MIEMBRO

Mg. Melchor Nicolás Llosa Demartini  
ASESOR

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	2
ÍNDICE DE TABLAS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
INTRODUCCIÓN .....	11
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
1.1 Determinación del Problema .....	12
1.2 Formulación del Problema .....	12
1.2.1 Problema General .....	12
1.2.2 Problemas Específicos .....	12
1.3 Objetivos de la investigación .....	13
1.3.1 Objetivo General .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	13
1.4 Justificación del Problema .....	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	14
2.1 Bases Teóricas .....	14
2.1.1 Pronóstico del tiempo .....	14
2.1.2 Pronóstico Numérico del tiempo .....	14
2.1.3 Modelos Numéricos .....	14
2.1.4 Model Global Forecast System (GFS) .....	20
2.1.1.1 <i>Pronostico Numérico del Tiempo</i> .....	20
2.1.1.2 <i>Ondas de Gravedad</i> .....	21
2.1.1.3 <i>Radiación</i> .....	22
2.1.1.4 <i>Convección</i> .....	22
2.1.1.5 <i>Convección Llana</i> .....	24
2.1.1.6 <i>Fracción Nubes</i> .....	24
2.1.1.7 <i>Escala de la grilla de condensación y Precipitación</i> .....	24
2.1.1.8 <i>Difusión Vertical Capa Límite Planetaria</i> .....	25
2.1.1.9 <i>Orografía</i> .....	25
2.1.1.10 <i>Océano</i> .....	25
2.1.1.11 <i>Hielo marino</i> .....	26
2.1.1.12 <i>Cubierta de nieve</i> .....	26
2.1.1.13 <i>Características Superficiales</i> .....	26

2.1.1.14	Procesos de Superficie Terreno .....	26
2.1.1.15	<i>Química</i> .....	27
2.1.2	Escala Meteorológica.....	27
2.1.2.1	<i>Escala Sinóptica</i> .....	27
2.1.2.2	<i>Mesoescala</i> .....	27
2.1.3	Agua Precipitable.....	28
2.1.4	Alta de Bolivia .....	28
2.1.5	Convección Llana y Profunda .....	31
2.1.6	Subsidencia .....	33
2.1.7	Estudio Nacional del Fenómeno de “El Niño” (ENFEN) .....	33
2.1.8	Índice Oscilación de El Niño (ONI) .....	33
2.1.9	Condiciones Sinópticas (diciembre 2015-enero2016).....	37
2.1.10	Estación Meteorológica Convencional.....	41
2.1.11	Imágenes de Satélite .....	42
2.1.11.1	<i>Imagen Infrarroja</i> .....	42
2.1.11.2	<i>Imagen de Vapor de Agua</i> .....	43
2.1.12	Descripción de las Imágenes de Satélite.....	45
2.1.13	Coeficiente de correlación de PEARSON .....	61
2.1.14	Percentiles .....	63
2.1.15	Eventos Extremos.....	64
<b>CAPÍTULO III VARIABLES E HIPÓTESIS .....</b>		<b>66</b>
3.1	Definición de Variables.....	66
3.2	Hipótesis General e Hipótesis Específicas .....	66
3.2.1	Hipótesis General.....	66
3.2.2	Hipótesis Específicas: .....	66
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA.....</b>		<b>67</b>
4.1	Materiales y Métodos .....	67
4.1.1	Área de Estudio .....	67
4.1.2	Datos meteorológicos.....	71
4.1.3	Datos del modelo .....	78
4.1.4	Datos de Imágenes se Satélite .....	79
<b>CAPÍTULO V: RESULTADOS .....</b>		<b>80</b>
5.1	Análisis de datos de estaciones con el Modelo GFS. ....	80
5.1.1	Bambamarca .....	81
5.1.2	Cachicadan .....	85
5.1.3	Cajabamba .....	89

5.1.4	Celendín.....	94
5.1.5	Chota .....	99
5.1.6	Cospan .....	104
5.1.7	Huarmaca .....	109
5.1.8	Jazan .....	114
5.1.9	Llama .....	119
5.1.10	Salala .....	124
5.1.11	Salpo.....	129
5.1.12	Chiquian .....	134
5.1.13	Yauyos .....	139
5.1.14	Sihuas .....	144
5.1.15	Chavín .....	149
5.1.16	Jacas Chico .....	154
5.1.17	Yanahuanca .....	159
5.1.18	La Oroya .....	164
5.1.19	Huayao .....	169
5.1.20	Pilchaca .....	174
DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		180
CONCLUSIONES .....		182
RECOMENDACIONES .....		184
BIBLIOGRAFÍA.....		185

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Mesoescala.....	28
<b>Tabla 2</b> Índice de Oscilación del Niño (ONI). NOAA.....	33
<b>Tabla 3</b> Imágenes de Vapor de Agua. GOES 13 .....	45
<b>Tabla 4</b> Imágenes Infrarroja. GOES 13.....	52
<b>Tabla 5</b> Imágenes Infrarroja Promedio de 24 horas. GOES 13 .....	57
<b>Tabla 6</b> Caracterización de extremos de precipitación .....	65
<b>Tabla 7</b> Estaciones Sierra Norte .....	75
<b>Tabla 8</b> Estaciones Sierra Central .....	78
<b>Tabla 9</b> Umbrales de precipitación de la Estación Bambamarca.....	81
<b>Tabla 10</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Bambamarca.....	84
<b>Tabla 11</b> Umbrales de precipitación de la Estación Cachicadan. ....	86
<b>Tabla 12</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Cachicadan .....	88
<b>Tabla 13</b> Umbrales de precipitación de la Estación Cajabamba.....	90
<b>Tabla 14</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Cajabamba.....	93
<b>Tabla 15</b> Umbrales de precipitación de la Estación Celendín.....	95
<b>Tabla 16</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Celendín. ....	98
<b>Tabla 17</b> Umbrales de precipitación de la Estación Chota.....	100
<b>Tabla 18</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chota. ....	103
<b>Tabla 19</b> Umbrales de precipitación de la Estación Cospan.....	105
<b>Tabla 20</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Cospan .....	108
<b>Tabla 21</b> Umbrales de precipitación de la Estación Huarmaca.....	110
<b>Tabla 22</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Huarmaca. ....	113
<b>Tabla 23</b> Umbrales de precipitación de la Estación Jaza.....	115
<b>Tabla 24</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Jazan. ....	118
<b>Tabla 25</b> Umbrales de precipitación de la Estación Llama. ....	120
<b>Tabla 26</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Llama. ....	123
<b>Tabla 27</b> Umbrales de precipitación de la Estación Salala .....	125
<b>Tabla 28</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Salala.....	128
<b>Tabla 29</b> Umbrales de precipitación de la Estación Salpo. ....	130
<b>Tabla 30</b> Datos pronosticados de precipitación en la Estación Salpo.....	133
<b>Tabla 31</b> Umbrales de precipitación de la Estación Chiquian.....	135

<b>Tabla 32</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chiquian.....	138
<b>Tabla 33</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Yauyos. ....	140
<b>Tabla 34</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Yauyos .....	143
<b>Tabla 35</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Sihuas. ....	145
<b>Tabla 36</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Sihuas .....	148
<b>Tabla 37</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Chavín.....	150
<b>Tabla 38</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chavín .....	153
<b>Tabla 39</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Jacas Chico.....	155
<b>Tabla 40</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Jacas Chico. ....	158
<b>Tabla 41</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Yanahuanca. ....	160
<b>Tabla 42</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Yanahuanca.....	163
<b>Tabla 43</b>	Umbrales de precipitación de la Estación La Oroya. ....	165
<b>Tabla 44</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación La Oroya. ....	168
<b>Tabla 45</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Huayao.....	170
<b>Tabla 46</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Huayao .....	173
<b>Tabla 47</b>	Umbrales de precipitación de la Estación Pilchaca.....	175
<b>Tabla 48</b>	Datos pronosticados de precipitación en la Estación Pilchaca. ....	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Promedio climatológico mensual de vientos en 200hPa para el mes de enero.....	29
<b>Figura 2</b> Promedio climatológico de vientos en 200 hPa para el mes de diciembre (a) y enero (b) de los años 190 al 2010. ....	30
<b>Figura 3</b> Convección Llana, Profunda y Severa. ....	31
<b>Figura 4</b> Movimientos Verticales de Ascenso Llano. ....	32
<b>Figura 5</b> Movimientos Verticales de Ascenso Profundo. ....	32
<b>Figura 6</b> Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar, (a) diciembre 2015, (b) enero 2016.....	38
<b>Figura 7</b> Patrón de circulación en alta troposfera en 200hPa (flechas negras: viento y matiz de colores: magnitud de viento) (a) 20dic2015-05ene2016 (b) 06ene2016-20ene2016. ....	39
<b>Figura 8</b> Diagrama de Hovmoller (81°W): Agua precipitable (matiz de colores, mm) y viento en 200 hPa (flechas, m/s en 200hPa).....	40
<b>Figura 9</b> Sistema Mundial de Observación (SMO) .....	41
<b>Figura 10</b> Muestra el mapa del Perú, con la división de la sierra .....	68
<b>Figura 11</b> Muestra el área de estudio.....	70
<b>Figura 12</b> Muestra la red de estaciones en la sierra del Perú .....	72
<b>Figura 13</b> Muestra estaciones convencionales SENAMHI distribuidas de acuerdo su ubicación en la sierra norte con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados. ....	73
<b>Figura 14</b> Muestra las estaciones convencionales SENAMHI de la sierra norte con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados.....	74
<b>Figura 15</b> Muestra las estaciones convencionales SENAMHI, distribuidas de acuerdo su ubicación en la sierra central con la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	76
<b>Figura 16</b> Muestra las estaciones convencionales SENAMHI de la sierra central, con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados.....	77
<b>Figura 17</b> Muestra la estación convencional Bambamarca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	82
<b>Figura 18</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Bambamarca. ....	83

<b>Figura 19</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Bambamarca .....	85
<b>Figura 20</b> Muestra la estación convencional Cachicadan en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	86
<b>Figura 21</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Cachicadan .....	87
<b>Figura 22</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Cachicadan .....	89
<b>Figura 23</b> Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	91
<b>Figura 24</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Cajabamba. ....	92
<b>Figura 25</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Cajabamba .....	94
<b>Figura 26</b> Muestra la estación convencional Celendín en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	96
<b>Figura 27</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Celendín. ....	97
<b>Figura 28</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Celendín. ....	99
<b>Figura 29</b> Muestra la estación convencional Chota en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	101
<b>Figura 30</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Chota .....	102
<b>Figura 31</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Chota. ....	104
<b>Figura 32</b> Muestra la estación convencional Cospan en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	106
<b>Figura 33</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Cospan. ....	107
<b>Figura 34</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Cospan .....	109
<b>Figura 35</b> Muestra la estación convencional Huarmaca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	111
<b>Figura 36</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Huarmaca .....	112
<b>Figura 37</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Huarmaca. ....	114
<b>Figura 38</b> Muestra la estación convencional Jazan en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	116
<b>Figura 39</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Jazan. ....	117
<b>Figura 40</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Jazan. ....	119
<b>Figura 41</b> Muestra la estación convencional Llama en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	121
<b>Figura 42</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Llama. ....	122
<b>Figura 43</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Llama. ....	124



<b>Figura 44</b> Muestra la estación convencional Salala en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	126
<b>Figura 45</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Salala.....	127
<b>Figura 46</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Salala.....	129
<b>Figura 47</b> Muestra la estación convencional Salpo en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	131
<b>Figura 48</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Salpo.....	132
<b>Figura 49</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Salpo.....	134
<b>Figura 50</b> Muestra la estación convencional Chiquian en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	136
<b>Figura 51</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Chiquian.....	137
<b>Figura 52</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Chiquian.....	139
<b>Figura 53</b> Muestra la estación convencional Yauyos en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	141
<b>Figura 54</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Yauyos.....	142
<b>Figura 55</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Yauyos.....	144
<b>Figura 56</b> Muestra la estación convencional Sihuas en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	146
<b>Figura 57</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Sihuas.....	147
<b>Figura 58</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Sihuas.....	149
<b>Figura 59</b> Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	151
<b>Figura 60</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Chavín .....	152
<b>Figura 61</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Chavín .....	154
<b>Figura 62</b> Muestra la estación convencional Jacas Chico en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	156
<b>Figura 63</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Jacas Chico. ....	157
<b>Figura 64</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Jacas Chico. ....	159
<b>Figura 65</b> Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	161
<b>Figura 66</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Yanahuanca.....	162
<b>Figura 67</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Yanahuanca.....	164
<b>Figura 68</b> Muestra la estación convencional La Oroya en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	166

<b>Figura 69</b> Muestra la precipitación diaria de la estación La Oroya .....	167
<b>Figura 70</b> Coeficiente de Pearson de la Estación La Oroya. ....	169
<b>Figura 71</b> Muestra la estación convencional Huayao en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	171
<b>Figura 72</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Huayao. ....	172
<b>Figura 73</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Huayao .....	174
<b>Figura 74</b> Muestra la estación convencional Pilchaca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados. ....	176
<b>Figura 75</b> Muestra la precipitación diaria de la estación Pilchaca .....	177
<b>Figura 76</b> Coeficiente de Pearson de la Estación Pilchaca. ....	179

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país rico en diversidad de climas gracias a sus características geográficas como la proximidad del Océano Pacífico y la Cordillera de los Andes, donde se genera un reto para los pronósticos a corto plazo, estas características geográficas hacen que sea también vulnerable a eventos de lluvias intensas que afectan a la población y a sus medios de vida.

Con la finalidad de mejorar el pronóstico de precipitaciones en la sierra norte y central en el presente realiza la validación del modelo Global Forecasting System (GFS), con las estaciones convencionales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la precipitación cuantificada para cada salida diaria del modelo, en el periodo comprendido entre el 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016.

Desde el planteamiento de las ecuaciones que gobiernan la atmósfera ha pasado por innumerables problemas en cálculo, resolución a través de métodos numéricos y condiciones de frontera como la mejora significativa de las estaciones y sondajes atmosféricos recolección de datos información satelital; mejoras en las computadoras hasta tener un producto con una grilla de resolución espacial de 13 km cada tres horas y cuatro veces al día, los modelos numéricos han ido evolucionando y mejorando con el transcurrir de los años.

Se debe validar para determinar la calidad del modelo numérico; en el presente trabajo se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, con los datos del pronóstico de precipitaciones del modelo GFS de 0.5 grados de resolución espacial, para los próximos 10 días y los datos de las estaciones convencionales de SENAMHI. Asimismo, se describe sintéticamente lo ocurrido sinópticamente, para lo cual se usaron datos de análisis del modelo GFS y las imágenes de satélite GOES 13 de vapor de agua e infrarroja además de una integración de ellas, para poder comprender lo sucedido en el periodo de análisis.

Finalmente, esto servirá para implementar los pronósticos a corto plazo de precipitaciones en la sierra norte y central del Perú.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Determinación del Problema

Para realizar el pronóstico de precipitaciones, se usa los modelos numéricos, analizando las condiciones atmosféricas (troposfera) y observando las imágenes de satélite y los datos de estaciones, para determinar las precipitaciones, para cuantificar se usan los pronósticos de los modelos numéricos, en la sierra norte y central es necesario tener un pronóstico cuantificado (cuantitativo) de precipitaciones en vista de las múltiples necesidades como en la agricultura, transporte, turismo y la gestión de riesgos de desastres. El modelo numérico Global Forecasting System (GFS), es de acceso libre, se podría usar en forma operativa para realizar los pronósticos de precipitación cuantificada, para lo cual es necesario validarlos con datos de las estaciones meteorológicas convencionales de la sierra norte y de la sierra central, utilizando el Coeficiente de correlación de Pearson, para instaurar el pronóstico de precipitación del modelo GFS en forma operativa para que ayude a la toma de decisiones oportunas.

### 1.2 Formulación del Problema

#### 1.2.1 Problema General

¿Serán válidos los pronósticos cuantificados de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, en la sierra norte y central del Perú, entre diciembre 2015 y enero 2016?

#### 1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Se validará el modelo GFS de precipitación cuantificada de 0,5 grados de resolución, con el Coeficiente de correlación de Pearson?

- ¿Se instaurará del modelo GFS de 0,5 de resolución, para mejorar el pronóstico de precipitación cuantificada a corto plazo en la sierra norte y central?

### **1.3 Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Validar con datos de las estaciones convencionales del SENAMHI, el comportamiento del modelo GFS de 0,5 grados de resolución para el pronóstico cuantificado de precipitación en la sierra norte y central del Perú, en el periodo comprendido entre el 20 de diciembre 2015 y 20 de enero 2016.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Validar el modelo GFS, de 0.5 grados de resolución, para la precipitación cuantificada en la sierra norte y central del Perú.
- Instaurar el modelo GFS de 0.5 de resolución, para mejorar el pronóstico de precipitación cuantificada a corto plazo en la sierra norte y central del Perú.

### **1.4 Justificación del Problema**

Los resultados de esta investigación serán aplicados en beneficio de la ciudadanía y principalmente por instituciones relacionadas agricultura, salud, transporte y comunicaciones, turismo, y a la gestión de riesgos de desastres, para una mejor toma de decisiones.

## **CAPÍTULO II:**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Bases Teóricas**

##### **2.1.1 Pronóstico del tiempo**

El pronóstico meteorológico trata de predecir las condiciones atmosféricas en el futuro. El objetivo principal de un pronóstico es proporcionar información para planificarse y prepararse de manera activa para los eventos meteorológicos. Los eventos meteorológicos impactan las actividades realizadas por las personas en general. Conocer el estado futuro del tiempo sirve para planificar qué hacer y cuándo hacerlo.

##### **2.1.2 Pronóstico Numérico del tiempo**

El Tiempo son condiciones meteorológicas para describir las condiciones actuales y futuras en un periodo máximo a los 15 días, para un determinado lugar.

El Clima condiciones meteorológicas que describen las condiciones de etapas que trascurrieron o predecir en una escala de meses o años.

El pronóstico del tiempo es predecir las condiciones meteorológicas de un determinado lugar, que se presentaran en el futuro próximo inmediato como la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de los vientos también eventos meteorológicos como lluvias, nevadas, granizadas, etcétera.

##### **2.1.3 Modelos Numéricos**

La simulación numérica avanza cada día más abarcando la comprensión de fenómenos complejos de la Tierra, los modelos numéricos son el mejor medio para predecir el futuro de las condiciones de tiempo y clima.

Las ideas básicas de la predicción numérica nacieron mucho antes de la invención de la computadora, una mejor comprensión de la dinámica atmosférica permitió el

desarrollo de sistemas simplificados de ecuaciones, con observaciones regulares de la atmosfera libre por medio de radiosondas y el desarrollo de esquemas de diferencias finitas estables y computadoras con gran capacidad de cálculo, proporcionaron los medios necesarios para predecir los cambios del clima. (P. Lynch 2006).

Ya hace un siglo el pronóstico del tiempo era un proceso fortuito muy impreciso y poco confiable, se tenían pocas o ninguna observación de atmosfera superior y poca información sobre los océanos, al inicio la física teórica no intervinieron en el proceso del pronostico del tiempo, los pronósticos se realizaban con técnicas de extrapolación conociendo la climatología local, se trazaban líneas de presión que revelaban patrones meteorológicos como depresiones, anticiclones, (depresiones o crestas). El proceso físico primario fue el análisis de la advección, es decir el transporte de las características y/o propiedades del fluido.

Todos los modelos numéricos de la atmosfera se basan en el mismo grupo de ecuaciones que las gobiernan, las cuales se describen en términos matemáticos, los modelos numéricos difieren entre sí en las aproximaciones y suposiciones hechas en la aplicación de estas ecuaciones y en como ellas resuelven para la representación de los diferentes procesos físicos. (G.Avalos 2002).

“La meteorología es esencialmente la aplicación de la hidrodinámica y la termodinámica de la atmosfera”, ya lo menciono en el siglo XIX, Cleveland Abbe, (P. Willis, 2006), formulando las ecuaciones que deberían usar para hacer en forma científica el pronóstico del tiempo, menciona la ley general de los gases, en la ecuación de Gay Lussac, seguidamente las condiciones es la ecuación, hipsométrica, que relaciona la altitud la presión y la temperatura, humedad y gravedad, la introducción del calor sensible y calor latente en relación a los procesos del aire usando la ecuación termodinámica, conocida ahora como la primera ley de la termodinámica, también hace mención a la conservación de la cantidad de masa, relacionada con la velocidad del aire, así mismo la ley de la conservación de energía que es otra condición general de los fenómenos atmosféricos, finalmente da una ecuación general similar a las ecuaciones de Navier Stokes con una referencia en la American Mathematical Society (C. Abbe, 1901).

Cronológicamente Bjerknes propuso una serie de pasos para predicción meteorológica teniendo en cuenta que para saber con precisión el estado de la atmosfera en un momento dado se debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

Saber con precisión el estado de la atmosfera en un momento dado.

Se tiene que saber con suficiente precisión las leyes según las cuales un estado de la atmosfera se desarrolla a partir de otro.

Primero, que se debe observar el estado de la atmosfera adecuado, para el momento de Bjerknes, se tenía red de estaciones terrestres, pero no en el mar, además él creía que los datos de mar adentro eran muy importantes para el análisis diario ya que ejercía una influencia importante. Las observaciones se realizan solo a nivel del suelo en superficie y no se tenía datos sobre capas superiores de la atmosfera.

Segundo que los procesos atmosféricos son una mezcla mixta de física de la naturaleza, para cada proceso se puede plantear una o a varias ecuaciones, el estado del tiempo puede calcularse cuando se puede calcular la velocidad, la densidad, la presión, la temperatura, y el espacio del aire para cualquier punto, el vector velocidad se representa en tres componentes y hay siete parámetros desconocidos que se debe calcular. Para calcular estos parámetros se pueden aplicar las siguientes ecuaciones:

Las tres ecuaciones hidrodinámicas del movimiento y su relación con los tres componentes de velocidad, la densidad y la presión. Ecuaciones de movimiento:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - f u$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z}\right) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

donde  $V=V(u,v,w)$

La ecuación de la continuidad que expresa el principio de la conservación de la masa durante el movimiento, que se relacionan la velocidad y la densidad. Ecuación de la continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z}\right) - \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right)$$



La ecuación de estado para el medio ambiente que relaciona la densidad, la presión atmosférica, la temperatura, la humedad y la masa. Ecuación de estado:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\left(u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z}\right) - p \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}\right) - \gamma \frac{pw}{T}$$

Donde:

$$\gamma = - \frac{dT}{dz}$$

Es el coeficiente de enfriamiento adiabático del aire seco o húmedo.

Los dos principios fundamentales de la termodinámica que permiten relacionar la entropía y la energía para el cambio de estado.

Tercero se debe usar métodos numéricos para derivar las ecuaciones de equilibrio o elementos físicos dinámicos que forman la base de las ecuaciones con un razonamiento adecuado para evitar los errores.

Cuarto para obtener los resultados esperados se debe trabajar por secuencias con variables múltiples por el método de diferencias finitas y los estados termodinámicos precisos. (V. Bjerknes, 1904).

El científico irlandés Lewis Fry Richardson generó una solución directa a las ecuaciones de movimiento, de acuerdo a lo que mencionó Bjerknes, apoyando a encontrar mapas previos que se asemejan al actual y con ello deducir el probable desarrollo, analizando la evolución de los mismos con los casos anteriores, Richardson se mostró optimista mencionado: “El pronóstico se basa en la suposición de lo que hizo la atmósfera en ese momento, lo hará nuevamente ahora”, sobre la naturaleza del pronóstico que lo comparó con las observaciones astronómicas, sugirió que: las cartas Náuticas se basan en la historia astronómica y que se repiten en conjunto, pero la disposición de las estrellas, planetas y satélites nunca ocurre dos veces ¿por qué entonces deberíamos esperar que un mapa meteorológico actual se represente exactamente en un catálogo de clima del pasado?, “el esquema se complica porque la atmósfera es complicada”.

La idea de Richardson fue expresar los principios físicos que rigen el comportamiento de la atmósfera como un sistema de ecuaciones matemáticas y aplicar su método de

diferencias finitas para resolver el sistema de ecuaciones. Estas ecuaciones básicas ya habían sido identificadas por Abbe y Bjerknes, pero tuvieron que simplificarse usando suposiciones hidrostáticas para obtener una solución aproximada, la idea fundamental es que las presiones atmosféricas, las velocidades, etcétera se genera turbulencia en ciertas latitudes, longitudes y altura para dar una descripción general del estado de la atmosfera en ese instante, luego los números se procesan mediante un método aritmético para dar como resultados después de un intervalo de tiempo  $\Delta t$ , el procedimiento puede repetirse para producir el estado de la atmosfera después de  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$  y así sucesivamente. El trabajo de Richardson constituye la base para los pronósticos modernos.

Durante las década de 1920, Courant, Friedrichs y Lewy estudiaron las soluciones numéricas de las ecuaciones diferenciales parciales y demostraron la existencia de una limitación en el paso del tiempo para un paso espacial dado que se conoce como el criterio de CFL, Von Newman apreciaba el trabajo realizado para el pronóstico de tiempo de Richardson, realizo estimaciones de la capacidad computacional para la resolución de las ecuaciones diferenciales parciales, quedo claro que el criterio de estabilidad usando por Richardson que prohibía el uso del paso del tiempo prolongado, su plan inicial era integrar las ecuaciones primitivas pero la existencia de soluciones de gravedad de alta velocidad requirió el paso de tiempo muy corto que el volumen computacional excedía la capacidad de máquina, y la principal dificultad era la imposibilidad de calcular con precisión la divergencia de las observaciones. Neumann solicito financiamiento a la Marina de los Estados Unidos, es así que este fue el primer paso para la predicción numérica.

En el estudio de la inestabilidad baroclínica Jule Charney ya había derivado una ecuación matemáticamente tratable para las ondas inestables, “al eliminar el ruido de las oscilaciones y de las ondas de gravedad que no tuvieran importancia meteorológica”, la ventaja de usar ecuaciones filtradas no se limitan al uso en estudios analíticos, Charney analizo las ecuaciones primitivas utilizando la técnica de análisis de escala y fue capaz de simplificarlas de tal manera que las soluciones de ondas de gravedad fueron completamente eliminadas, las ecuaciones que se obtuvo se conocen como el sistema cuasi geostrófico, para el caso especial del flujo horizontal con estabilidad estática constante, la variación vertical se puede separar y

la ecuación de vorticidad potencial cuasi geostrófica se reduce a la una forma equivalente de la vorticidad barotrópica no divergente.

$$\frac{d(\zeta + f)}{dt} = 0$$

donde  $\zeta$  es la vorticidad de movimiento y  $f$  es la vorticidad planetaria, la ecuación barotrópica había sido utilizada por Rossby en su estudio de las ondas atmosféricas, pero en ese momento no se creía que pudiera predecir cuantitativamente y en forma precisa el flujo atmosférico. A principios de 1950 el equipo de meteorología ya había completado el análisis matemático necesario y ya se había diseñado un algoritmo numérico para resolver la ecuación de la vorticidad barotrópica. Se ejecutó en el integrador Numérico Electrónico en Aberdeen Maryland, que tomo alrededor de 24 horas de cómputo un pronóstico para las próximas 24 horas, y se realizó cuatro pronósticos de 24 horas y los resultados indicaron que las características a gran escala del flujo troposférico medio podrían pronosticarse barométricamente con una similitud razonable a la realidad.

Varios modelos baroclínicos se desarrollaron en los años posteriores todos estaban basados en el sistema cuasi geostrófico y usando modelos de dos o tres capas y simulaban razonablemente bien la ciclogénesis.

Charney discutió las perspectivas de usar ecuaciones primitivas y argumento que si se usaban vientos iniciales geostróficos las ondas de gravedad serian aceptablemente pequeñas, Karl Heinz Hinkelmann en 1951, abordó las cuestiones de las condiciones iniciales adecuadas para las integraciones de ecuaciones primitivas, usando para simular la dinámica atmosférica la energía y el ruido generado por oscilaciones de alta frecuencia se podrían controlar mediante una buena inicialización.

En el año 1966 se usó las ecuaciones primitivas en un entorno de predicción numérica operativa, con un modelo de ecuaciones primitivas de seis niveles que produjo una mejora inmediata en la habilidad para pronosticar en los 500 hPa. (P. Lynch 2006).

De acuerdo con las escalas espaciales a las que se aplican, los modelos meteorológicos se pueden clasificar en tres grandes bloques: los modelos globales, los modelos regionales (o de mesoescala) y los modelos de microescala. Los

primeros se encargan fundamentalmente de la predicción numérica del tiempo a escala planetaria o en los estudios de cambio climático, los modelos regionales son los que sirven para reproducir fenómenos de mesoescala y predecir el "tiempo local" y los modelos de microescala se diseñan para simular fenómenos turbulentos y superficiales de especial interés en la simulación de dispersión de contaminantes.

Para la realización de análisis específicos del tiempo el National Centers for Environmental Prediction (NCEP) – National Center for Atmospheric Research (NCAR), dispone del proyecto Reanálisis, que consisten en distribuciones de parámetros atmosféricos elaborados por un modelo climático global (GCM, siglas en inglés), teniendo en cuenta todos los valores históricos existentes. El NCEP – NCAR, usa el sistema de asimilación global y la base de datos más completa posible. El modelo utilizado es un Modelo Global espectral de resolución T62/28 (aproximadamente 210 Km) y 28 niveles isobáricos. (E. Kalnay, 1990).

#### **2.1.4 Model Global Forecast System (GFS)**

Es un modelo numérico de predicción meteorológica de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica estadounidense (NOAA). Realiza predicciones hasta de 16 días cuatro veces al día. El GFS es el modelo más utilizado para la predicción meteorológica a medio plazo y a escala sinóptica.

El modelo GFS es un modelo de pronóstico atmosférico que proporciona pronóstico hasta 16 días, proporciona condiciones de contorno y condiciones iniciales para otros modelos NCEP, para predicción de modelos regionales, el sistema de asimilación de datos globales (GDAS), utiliza toda la información proporcionada por satélites, y observaciones convencionales de fuentes globales y genera condiciones iniciales para pronósticos mundiales, la asimilación de realiza cuatro veces al día 0000, 0600, 1200 y 1800 UTC. (UTM siglas en ingles de Universal Transverse Mercator).

##### ***2.1.1.1 Pronostico Numérico del Tiempo.***

El modelo de pronóstico GFS es un modelo espectral global que usa como base las funciones de los armónicos esféricos, en respuesta a un mejor implementación de recursos informáticos ahora ha evolucionado a una mejor resolución en horizontal

como en vertical, hasta con una resolución de 13 km y en la vertical con 64 capas híbridas sigma-presión (JG Sela, 2009), el modelo operacional se basa en niveles de dos tiempos semimplicitos y una discretización lagrangiana, (JG Sela, 2010), con una interpolación de Hermite tridimensional, capaz de soportar tres niveles de tiempo con enfoque Euleriano.

Los cálculos de advección en un modo semilagrangiano, y la física se realiza de modo lineal con malla gaussiana en el dominio horizontal, para la difusión horizontal de octavo orden se hace un tratamiento semimplicito en el espacio espectral, para lo cual requiere la aplicación de la transformada de Fourier y Legendre para convertir espacios espectrales en rejillas de puntos y para mejorar la exactitud computacional se utiliza la función de Legendre asociado a un número de onda más alto. También para reducir el ruido divergente del segundo amortiguamiento en la estratosfera, se aumenta la amplitud por encima de los 100 hPa.

#### **2.1.1.2 Ondas de Gravedad**

Las Ondas de Gravedad de arrastre se parametrizan que incluye la determinación del flujo de momento debido a las ondas de gravedad en la superficie como en los niveles superiores (JC. Alpert, 1988). La tensión superficial es una función no lineal de la velocidad del viento en superficie con el número de Froude, variaciones verticales situadas en el flujo de momento se producen cuando el número local Richardson es de menos de 0,25, o cuando se produce ruptura de la ola (número de Froude local se convierte en crítico); en el último caso, el flujo de momento se reduce de acuerdo con la hipótesis de saturación de onda (RS. Lindzen, 1981). Las modificaciones se realizan para evitar la inestabilidad cuando la capa límite crítica es cerca de la superficie, ya que la escala de tiempo para la onda de gravedad de arrastre es más corta que el paso de tiempo del modelo. El tratamiento de la resistencia parametrización-onda de gravedad en la troposfera inferior se mejora mediante el uso de grilla Kim y Arakawa (YJ, Kim - A. Arakawa, 1995). Se incluye una dependencia de la varianza en la dirección del viento con respecto a la montaña, así como detalles estadísticos de grillado de distribución de montaña. Esto mejora la predicción de ciclogénesis y el movimiento de que acompaña los brotes de advección fría (J. C. Alpert, 1991).

### **2.1.1.3 Radiación**

La radiación de onda larga (siglas en ingles LW) en el GFS operativos de NCEP emplea un modelo de transferencia rápida radiactivo (siglas en ingles RRTM), (Mlawer et al., 1997). El esquema de parametrización utiliza un método de distribución-k correlacionada y una búsqueda de transmitancia de consulta lineal para lograr una alta precisión y eficiencia. El algoritmo contiene 140 intervalos distribuidos de manera desigual en 16 bandas espectrales amplias. Además de los principales gases que absorben la atmósfera de ozono, vapor de agua y dióxido de carbono, el algoritmo también incluye diversas especies menores de absorción tales como el metano, el óxido nitroso, oxígeno, y hasta cuatro tipos de halocarbonos. Un método de máxima superposición aleatoria de nubes se utiliza en la aplicación GFS, con las trayectorias de líquido de agua / nube con hielo y radio efectivo para el agua líquida y hielo se utilizan para el cálculo de las propiedades en la nube radiactiva, asimismo se utiliza para tratar las nubes de agua líquida, y para la nube de hielo. La transferencia de radiación de onda corta (siglas en ingles SW) se basa en la parametrización de radiación de transferencia. La parametrización utiliza un método de distribución-k correlacionada para tablas de consulta de vapor de agua y la función de transmisión de dióxido de carbono y absorciones de oxígeno. Efecto aerosol atmosférico está incluido en el cálculo de la radiación onda corta. A los datos climatológicos globales distribuidos de temporada se utiliza para formar una mezcla de varios componentes de aerosoles troposféricos. Distribución horizontal de albedo de la superficie es una función de tipos de vegetación superficie de una manera similar. Por tanto, onda larga y onda corta, el espesor óptico nube se calcula a partir de la trayectoria de nube predicha condensada. Efectos de las gotas de lluvia y la nieve no se incluyen en el modelo GFS operativas, pero se pueden incluir en el futuro.

### **2.1.1.4 Convección**

Convección se simula con una corriente descendente saturada. La convección se produce cuando la función de trabajo en nube supera un determinado umbral. El flujo de masa de la nube se determina utilizando un supuesto de cuasi-equilibrio en base a esta función de trabajo umbral de la nube. La función de trabajo nube es una función de la temperatura y la humedad en cada columna de aire del modelo de puntos de

mallá. Los perfiles de temperatura y humedad se ajustan a la función de la nube de equilibrio dentro de una escala de tiempo especificado utilizando el flujo de masa deducida. Una simplificación importante del esquema original de Arakawa-Schubert es considerar sólo la nube más profunda y no el espectro de las nubes. El modelo de nube incorpora un mecanismo de tiro descendente, así como la evaporación de la precipitación. El arrastre de la corriente ascendente y de la corriente descendente en las capas sub-nube están incluidos. La fuerza de tiro descendente se basa en la cizalladura vertical del viento a través de la nube. La función de trabajo en la nube en estado crítico es una función del movimiento vertical de la base de la nube. A medida que el movimiento ascendente a gran escala se vuelve fuerte, se permite que la función de trabajo nube (similar a CAPE) se acercarse a cero (por lo tanto, se aproxima la estabilidad neutra). Flujos de masa inducidos en la corriente ascendente y la corriente descendente se les permite transportar impulso. El intercambio impulso se calcula a través de la formulación de flujo de masa de una manera similar a la de calor y humedad.

Con el fin de tener en cuenta el efecto del gradiente de presión en el impulso, se incluye una parametrización simple usando el arrastre para el impulso de la corriente ascendente dentro de la nube. Esta adicción a la parametrización de cúmulos ha reducido la retroalimentación entre la calefacción y la circulación de los flujos cizallados. Además, tiene un cambio en el algoritmo de selección cima de la nube en la parametrización de convección. El nivel en el que el paquete se vuelve estable con respecto al medio ambiente es la cima de la nube. Cuando el régimen de agua de las nubes pronóstico se prueba con este esquema, existe evidencia de que la parte superior de nubes difusión, está demasiado concentrada en la troposfera superior. Con el fin de proporcionar una mayor uniformidad de difusión del agua de las nubes en los trópicos, se realizó un cambio en el algoritmo de selección. Una vez que el más alto posible de la cima de la nube se ha determinado por el método de la burbuja, hacemos una selección aleatoria de la cima de la nube real entre el más alto posible cima de la nube y el nivel donde la energía estática de la húmeda ambiental es mínimo. Se calcula la tasa de arrastre adecuada para asegurarse de que el paquete se vuelve neutro a la nueva cima de la nube.

#### **2.1.1.5 Convección Llana**

La simulación de la convección de poca profundidad se parametrizada como una extensión del esquema de difusión vertical. La convección somera se produce cuando existe inestabilidad convectiva, pero no se produce la convección. La base de la nube se determina a partir del nivel de condensación de elevación y de la difusión vertical se invoca entre la parte superior de nubes y la parte inferior. Un perfil fijo de coeficientes de difusión vertical se asigna para el proceso de mezcla.

#### **2.1.1.6 Fracción Nubes**

El área fraccional del punto de la cuadrícula cubierto por la nube se utiliza la fórmula de donde la humedad relativa, la humedad específica de saturación su valor de umbral mínimo. La humedad específica de saturación se calcula con respecto a la fase de agua o fase de hielo en función de la temperatura. El modelo tiene un solo tipo de cobertura de nubes representado por malla tipo C de Arakawa. En los trópicos la nubosidad se debe principalmente a los yunques convectivos, el resultado de difusión del aire del cúmulo, mientras que, en las regiones extra tropicales, la nubosidad es principalmente a través de la condensación a escala de malla. La cobertura de nubes fraccional está disponible en todos los niveles de modelo. No hay cobertura de nubes, si no hay condensación de nubes. Las nubes en todas las capas se supone que se superponen al azar.

#### **2.1.1.7 Escala de la grilla de condensación y Precipitación**

Se ha desarrollado e incorporado un modelo explícito de predicción de nubes. En este esquema, se agrega una variable predictiva, la proporción de mezcla de nubes a las ecuaciones de pronóstico del modelo para representar el agua líquida en la nube y el hielo en la nube. La precipitación de diagnóstico se calcula a partir de la proporción de mezcla de nubes. Los estudios de diagnóstico sugieren que la inclusión del hielo en la nube es importante en la transferencia de vapor de agua a la precipitación y en la mejora de la liberación de calor latente; este último posteriormente afecta el campo de movimiento vertical significativamente. (Zhao y Carr ,1997). La evaporación de la lluvia en las capas saturadas por debajo del nivel de condensación también se tiene en cuenta. Toda la precipitación que penetra en la capa de la atmósfera inferior se deja caer a la superficie.



#### **2.1.1.8 Difusión Vertical Capa Límite Planetaria**

Se tiene implementado un sistema de difusión vertical de primer orden, donde los flujos superficiales están implementados en términos de volumen considerando su similitud y con condiciones similares a la capa superior, la profundidad de la capa límite se expresa en términos de un número mayor de Richardson que se modifica para incluir la influencia de las corrientes térmicas, teniendo en cuenta la interrelación entre el crecimiento de la capa límite y el perfil de difusividad turbulenta. Se predice el crecimiento de la capa de mezcla por convección, con flujos de calor débil en superficie y las transiciones entre casos estables e inestables, el modelo analiza y evoluciona para diferentes proporciones de evaporación de la superficie, la evaporación potencial, profundizando la capa límite. Una vez que se determina la altura de capa límite planetaria, se especifica el perfil del coeficiente de difusividad como una función cúbica de la altura capa límite planetario. Los valores reales de los coeficientes se determinan por la combinación con los flujos de la capa de superficie. También hay una parametrización de flujo de contador de gradiente que se basa en los flujos en la superficie y la escala de velocidad convectiva.

#### **2.1.1.9 Orografía**

Nuevos conjuntos de datos orográficos se construyen basados en un Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), es un modelo mundial digital de elevación (DEM) con un espaciado de malla horizontal de 30 segundos de arco (aproximadamente 1 km). Estadísticas Orografía incluyendo altura media, la varianza de la montaña, máxima orografía, máscaras-mar-lago tierra se derivan directamente de una segunda DEM 30 de arco de resolución dada. (Hong, 1999)

#### **2.1.1.10 Océano**

Se usa el análisis de la temperatura diaria superficie del mar que asimila observaciones desde hace siete días se utiliza información satelital con una interpolación de 1 grado. La temperatura de la superficie del mar anomalía se amortigua con un tiempo de 90 días durante el curso del pronóstico. (Reynolds y Smith, 1994).

#### **2.1.1.11 Hielo marino**

Mar de hielo se obtiene a partir del análisis por el Modelado Branch marino, disponible todos los días. El hielo marino se supone que tiene un espesor constante de 3 metros, y la temperatura del océano debajo del hielo está especificado para ser 271.2 K. La temperatura de la superficie del hielo marino se determina a partir de un balance de energía que incluye los flujos de calor de superficie y la capacidad térmica del hielo. La acumulación de nieve no afecta al albedo o la capacidad calorífica del hielo.

#### **2.1.1.12 Cubierta de nieve**

La capa de nieve se obtiene a partir de un análisis realizado por National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS) y la Fuerza Aérea, actualizado diariamente. Cuando el análisis de la capa de nieve no está disponible, se utiliza la nieve prevista en la asimilación de datos. La precipitación cae en forma de nieve, si la temperatura a la capa sigma = 0,85 es inferior a 0 C. de la masa de nieve que se determina en el pronóstico con una ecuación acumulativa que da cuenta de la acumulación y fusión. Además, la fusión de la nieve contribuye a la humedad del suelo, y la sublimación de la nieve para la superficie de evaporación. La capa de nieve afecta a la capacidad/albedo de la superficie y la transferencia de calor del suelo, pero no de hielo marino.

#### **2.1.1.13 Características Superficiales**

La rugosidad de los océanos se determina a partir de la fuerza del viento de superficie. Con el hielo marino de la rugosidad es un uniforme de 0,01 cm. La rugosidad sobre la tierra se prescribe a partir de datos de Simple Biosphere Model (SiB), que tiene como característica grillas de un grado y que incluyen 12 tipos de vegetación. (Dorman y Vendedores 1989). El albedo del hielo marino es una función de la temperatura de la superficie y la temperatura atmosférica proxima, así como la capa de nieve (Grumbine, 1994), con valores que van desde 0,65 hasta 0,8 para cubierta de nieve el hielo marino y 0,45-0,65 para desnudo hielo marino.

#### **2.1.1.14 Procesos de Superficie Terreno**

La temperatura del suelo y el contenido volumétrico de agua del suelo se calculan en dos capas a profundidades de 0,1 y 1,0 metros por un esquema de integración tiempo

totalmente implícito (Pan y Mahrt, 1987). Para el hielo del mar, las profundidades de la capa se especifican como 1.5 y 3 metros. La capacidad calorífica, difusividad térmica e hidráulica y los coeficientes de conductividad hidráulica son fuertes funciones del contenido de humedad del suelo. Una temperatura de aguas profundas del suelo climatológica se especifica en la tercera capa de 4 metros de terreno y un valor constante de 272 K se especifica como la temperatura de la interface agua-hielo de hielo marino. Se permite que el dosel de la vegetación para interceptar la precipitación y la re-evaporación. El escurrimiento de la superficie y el drenaje de la capa inferior también se calculan.

#### **2.1.1.15 Química**

El ozono es una variable pronosticada que se actualiza en el análisis y se transporta en el modelo. Las fuentes y los sumideros de ozono se calculan utilizando promedios zonales estacionalmente de diferentes tasas de producción y destrucción, proporcionadas por la NASA / GSFC.

### **2.1.2 Escala Meteorológica**

La escala de los procesos convectivos esta relacionados al espacio, tiempo y velocidad con que se dan estos fenómenos meteorológicos. Para el presente trabajo se vieron dos escalas:

#### **2.1.2.1 Escala Sinóptica**

La Meteorología de escala Sinóptica, se central en el estudio, análisis y la predicción de las estructuras meteorológicas cuya escala excede los 2000 km. Comprendemos bien las estructuras tales como vaguadas, dorsales, anticiclones, depresiones y límites frontales.

#### **2.1.2.2 Mesoescala**

Las nubes convectivas, precipitación y fenómenos asociados tienen característica en las longitudes, en tiempos y velocidades que pueden extenderse por debajo del extremo inferior de la mesoescala, pero pueden iniciarse y forzados por mecanismos en o sobre el extremo superior de la mesoescala, como se muestra en la tabla 1:

**Tabla 1 Mesoescala**

Nombre	Dimensiones		Estructura meteorológica típica
<b>Mesoescala- alfa (α)</b>	200- 2000 km	6 h a 2 días	Corrientes en chorro, huracanes pequeños, anticiclones débiles
<b>Mesoescala- beta (β)</b>	20-200 km	30 min. a 6 h	Campos de vientos locales, vientos de montaña, brisas de tierra/mar, complejos convectivos de mesoescala (CCM), tormentas grandes
<b>Mesoescala- gamma (γ)</b>	2-20 km	3 a 30 min.	La mayoría de las tormentas, los cúmulos grandes, tornados muy grandes

Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.3 Agua Precipitable

El agua precipitable es la cantidad, en toda la columna de aire, de vapor de agua, la cual se expresa en base unitaria desde una altura  $z$  hasta una altura dada  $h$ , como:

$$u = \int_z^h \rho(z') \times dz'$$

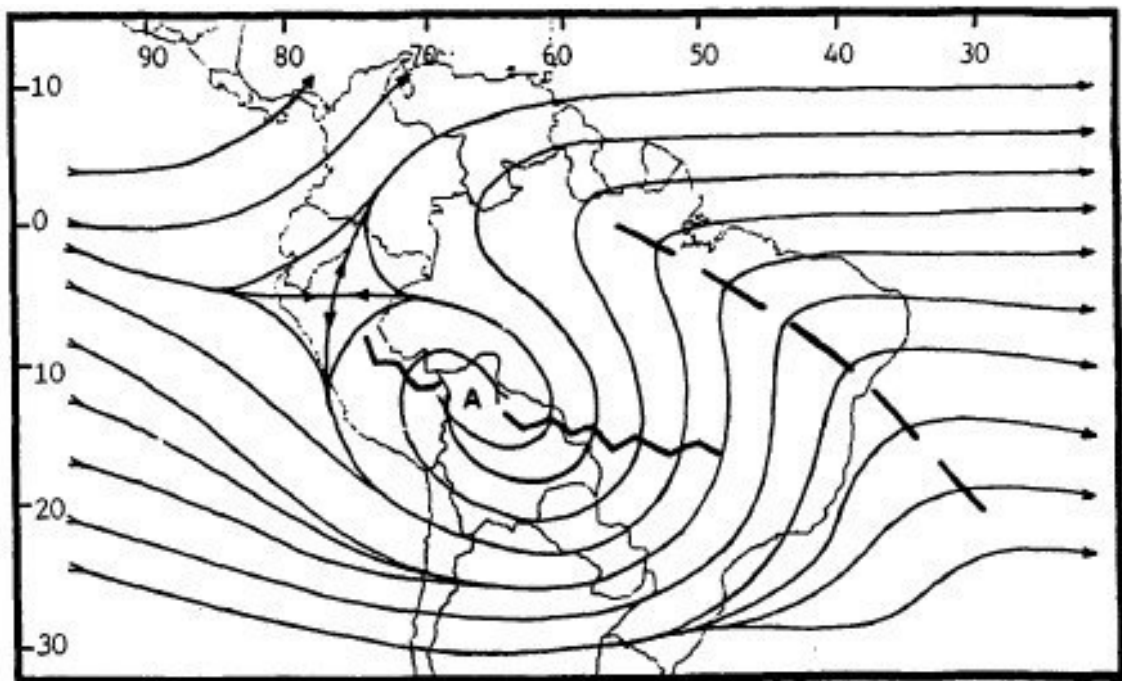
donde:  $\rho(z')$  es la densidad del vapor de agua a una altura  $z'$ . Se expresa como altura (mm) o masa ( $1\text{mm} \sim 0.1\text{gcm}^{-2}$ ). (Romero Pedro 2009).

“El concepto de vapor de agua precipitable puede ser útil en el pronóstico cuantitativo de la lluvia, en la determinación del flujo de humedad sobre una región dada, así como el estudio de balance de radiación” (Jáuregui E. 1985).

### 2.1.4 Alta de Bolivia

La circulación anticiclónica en niveles altos denominada Alta de Bolivia es una característica de verano en el continente Sudamericano que tiene una correlación lineal alta con las precipitaciones que se dan en la cuenca amazónica y los Andes Centrales y la formación de la Zona de Convergencia Atlántico Sur (ZCAS) junto con

la Vaguada del Noreste de Brasil (VNEB). Es una circulación anti horaria en altura sobre los 10 000 m, que arrastran humedad desde la selva amazónica sobre los andes centrales, la Alta Boliviana es la única fuente para los vientos del este, superiores al sur del Amazonas, en el norte de Bolivia, el oeste de Brasil y el este de Perú. Tiene su origen termal y dinámico, asociado a la liberación de calor latente generado por la intensa actividad convectiva que favorece como mecanismo para mantener la circulación anticiclónica en niveles altos. En Sudamérica en 200 hPa, es decir en niveles altos se ubican un sistema anticiclónico como muestra la figura 1, denominado Alta de Bolivia asociado a una dorsal y otro sistema denominado Vaguada del Noreste de Brasil (líneas discontinuas).

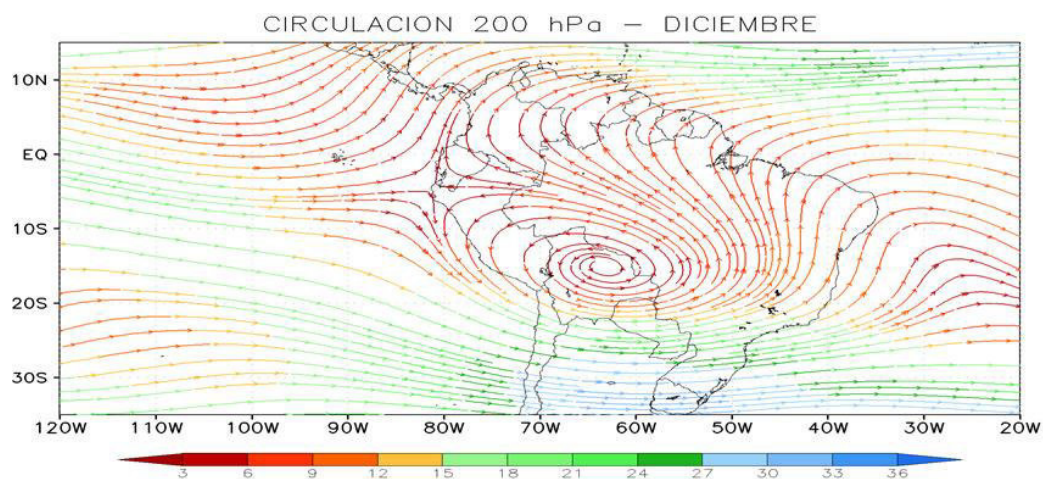


**Figura 1** Promedio climatológico mensual de vientos en 200hPa para el mes de enero.

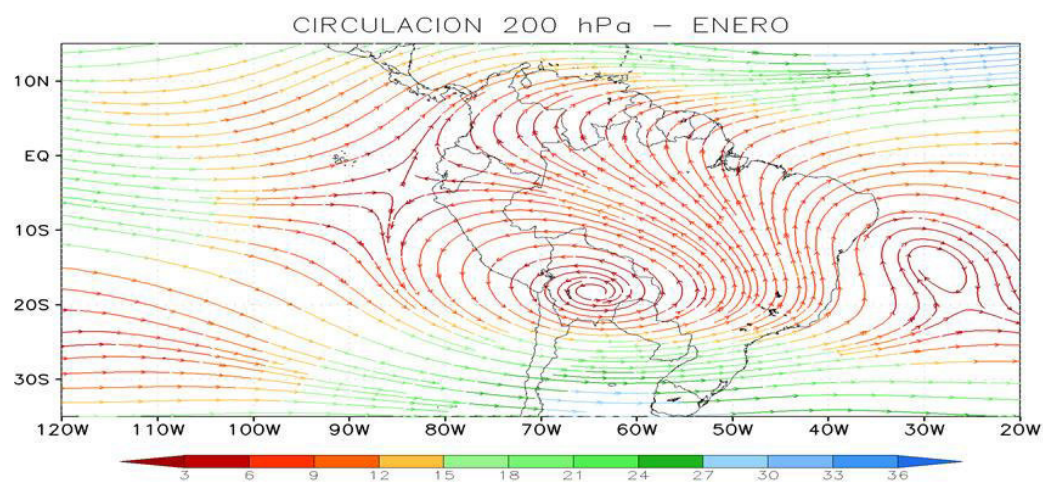
Fuente: Gilford, M; et al.1992. Página 2-30.

La formación de este sistema anticiclónico en altura se da desde el inicio de la primavera teniendo su máximo desarrollo en los meses de verano, climatológicamente se puede describir de la siguiente manera: en setiembre los flujos forman la circulación anticiclónica hacia el noreste de Brasil asociado a la dorsal del Pacífico; octubre ya se observa una mayor extensión juntamente con la Vaguada del Noreste de Brasil (VNEB), ya en la estación de verano en los meses de diciembre,

enero y febrero como se muestran en las gráficas climatológicas. La Alta de Bolivia presenta un promedio climatológico de ubicación sobre Bolivia extendiendo su dorsal hacia el Perú y una fuerte divergencia sobre la región norte del Perú y Ecuador, está asociada a la Vaguada del Noreste de Brasil. Las figuras 2-a y 2-b, es la circulación de los meses de diciembre y enero de 1990 a 2010 en 200 hPa, realizados con datos de reanálisis National Centers for Environmental Prediction (NCEP).



(a)



(b)

**Figura 2** Promedio climatológico de vientos en 200 hPa para el mes de diciembre (a) y enero (b) de los años 1990 al 2010.

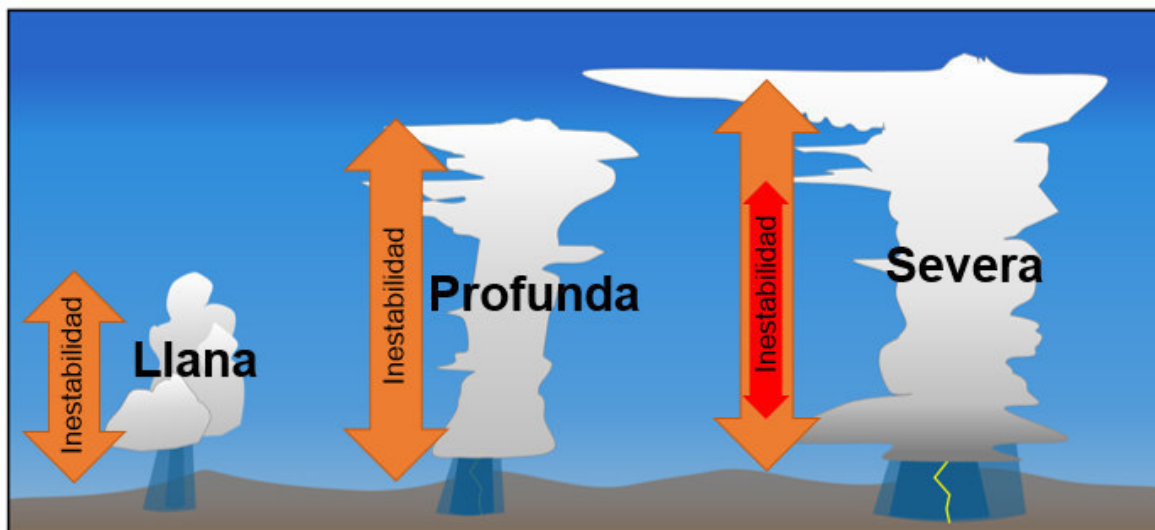
Fuente: Propia con datos NCEP.

### 2.1.5 Convección Llana y Profunda

La Convección es una forma de transferencia de calor en un fluido por el gradiente de temperatura. En la troposfera al ser muy dinámica a través del aire se trasporta por la convección dentro de la troposfera, es el resultado de la inestabilidad o diferencias de temperatura.

Inestabilidad es cuando la temperatura del aire que asciende es mayor que del aire que lo circunda, esto produce que la parcela de aire continúe su ascenso, al subir el aire se enfría, la humedad en el aire se condensa y forma nubes.

La convección atmosférica puede ser llana, profunda y severa, como se muestra en la figura 3.

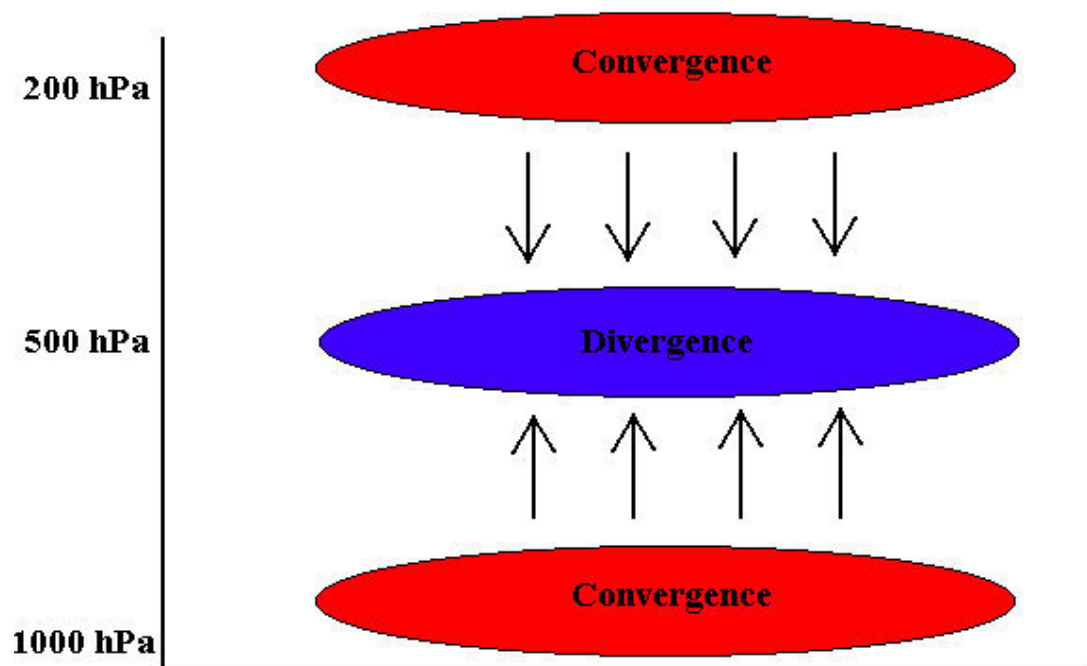


**Figura 3** Convección Llana, Profunda y Severa.

Fuente: Mike Davison (NOAA)

Además de la inestabilidad también se pueden tener factores dinámicos como la diferencia de presiones en superficie que generan convergencia de vientos es decir ascenso.

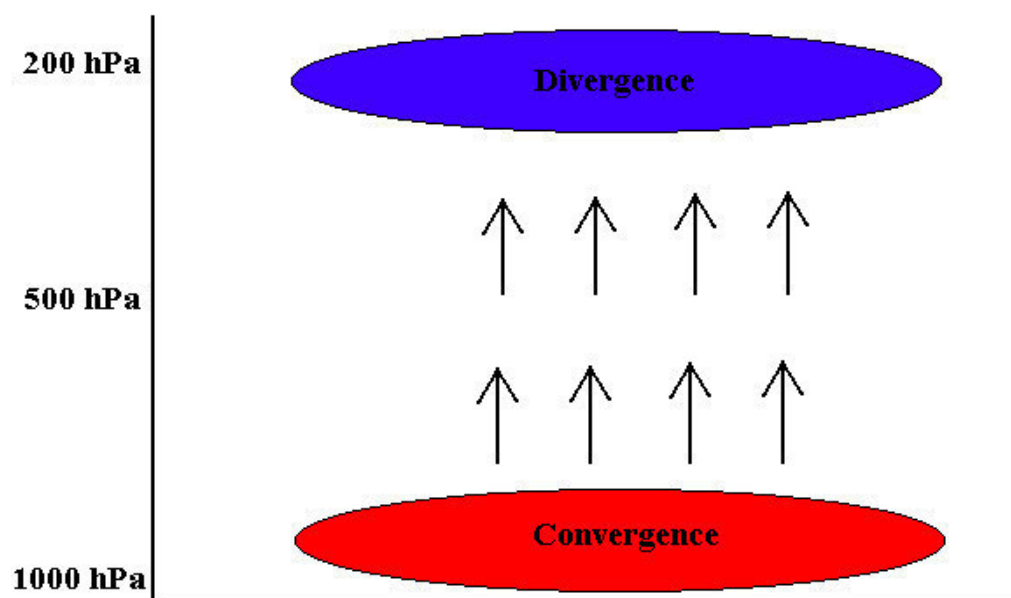
Es así que, para la convección llana, es necesario tener convergencia en niveles bajos y divergencia en niveles medios de la troposfera y convergencia en niveles altos, como se muestra en la figura 4.



**Figura 4** Movimientos Verticales de Ascenso Llano.

Fuente: Mike Davison (NOAA)

La convección profunda se da con convergencia en niveles bajos y divergencia en niveles altos, como se muestra en la figura 5.



**Figura 5** Movimientos Verticales de Ascenso Profundo.

Fuente: Mike Davison (NOAA)



### 2.1.6 Subsistencia

La subsidencia se da gracias a la conjunción de dos factores uno dinámico y otro térmico, el primero por tener convergencia en niveles medios y divergencia en superficie, segundo por la inversión térmica es decir a mayor altura mayor temperatura.

### 2.1.7 Estudio Nacional del Fenómeno de “El Niño” (ENFEN)

“El Comité ENFEN es un ente científico técnico multisectorial de carácter oficial que tiene la función de monitorear, vigilar, analizar, y alertar sobre las anomalías del océano y la atmosfera, que permitan diseñar medidas de prevención oportunas para reducir los impactos del fenómeno El Niño”. (IMARPE febrero 2012).

### 2.1.8 Índice Oscilación de El Niño (ONI)

El índice de Oscilación del Niño (ONI por sus siglas en ingles), que representa la desviación del promedio de temperatura superficial del océano Pacífico. Se calcula como la media de tres meses consecutivos de las anomalías de la temperatura superficial del mar, medidas en la región 3.4 del Niño que se localiza entre 5°N - 5°S, 120°W - 170°W, en estos momentos el ONI es una de las principales medidas para hacer seguimiento del ENSO (siglas en inglés: El Niño Southern Oscillation), que tiene tres fases: La Niña con valores negativos de ONI, El Niño con valores positivos de ONI y la fase neutra. (Ramírez V. 2009).

**Tabla 2** Índice de Oscilación del Niño (ONI). NOAA.

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-1	-1	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1	1.2	1	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0	-0	0	0.2	0.1	0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0	-0.4	-0.5	-1	-1	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7

1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-1	-1	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-1	-1	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0	-0	-0.3	-0.1	0	0	0
Año	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-1	-1	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2	2	1.7
1966	1.4	1.2	1	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
Año	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0	-0	-1	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-1	-1	-0.8	-0.8	-0.9	-1	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-1	-1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1	-0.9	-1	-1	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1	-1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0	-0	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Año	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0	-0.1	0	0.1	0

1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0	-0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0	-0	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-1	-1	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1	-1	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0	-0	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
<b>Año</b>	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1	1.1
1995	1	0.7	0.5	0.3	0.1	0	-0	-0.5	-0.8	-1	-1	-1
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0	-0	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1	0.5	-0	-1	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
<b>Año</b>	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-1	-1	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0	-0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.3	-0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0	-0.2	-0.3	-0	-1	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6

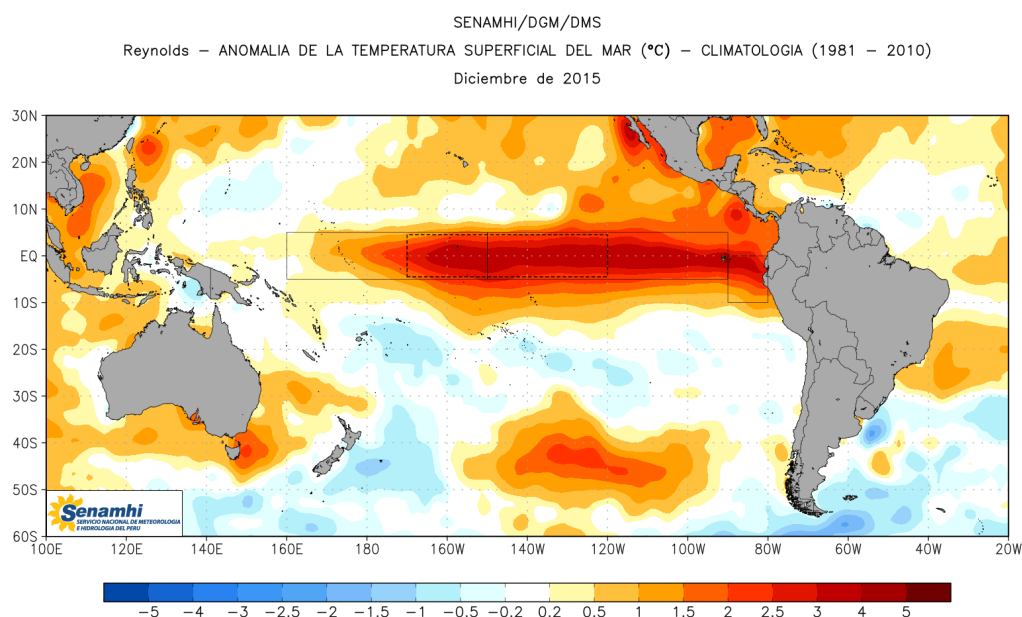
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-1	-0	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1	1.3	1.6
Año	<b>DJF</b>	<b>JFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDJ</b>
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-1	-1	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0	-1	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0	-0	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1	0.5	0	-0	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1
2018	-0.9	-0.8										

Fuente NOAA NCEP.

De la tabla 2 se observa, periodos cálidos, fríos y neutros de anomalía de temperatura superficial del mar en la región 3.4 (5°N - 5°S, 120°W - 170°W) del Pacífico Central, con un umbral de +/- 0.5°C, es así que para los meses consecutivos de noviembre, diciembre y enero (NDJ), para los años 1982 el valor del índice es de 2.2 y para los meses de diciembre, enero y febrero (DJF) de 1983 el valor del índice es de 2.2, similarmente para los años 1997 y 1998 para los meses de NDJ y DJF sus valores del índice fue de 2.4 y 2.2 respectivamente, y para el año 2015 y 2016 para los meses de NDJ y DJF el valor del índice es de 2.6 y 2.5, como se observa estos valores son más altos que los años 1997-1998 y 1982-1983. Por lo tanto, se observa que con esos valores del año 2015 y 2016 fueron los más elevados. De acuerdo a los comunicados emitidos por el ENFEN N°19-2015 del 04 de noviembre 2015, donde menciona: “El Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) mantiene el estado de Alerta, debido al evento El Niño de magnitud fuerte que se viene desarrollando en la costa peruana con temperaturas por encima de lo normal.” Desde el comunicado 17-2015 al 22-2015, todos mencionan: “debido al evento El Niño de magnitud fuerte”. Para el trabajo no se usa el índice ICEN, éste tiene más relevancia para el verano de 2017.

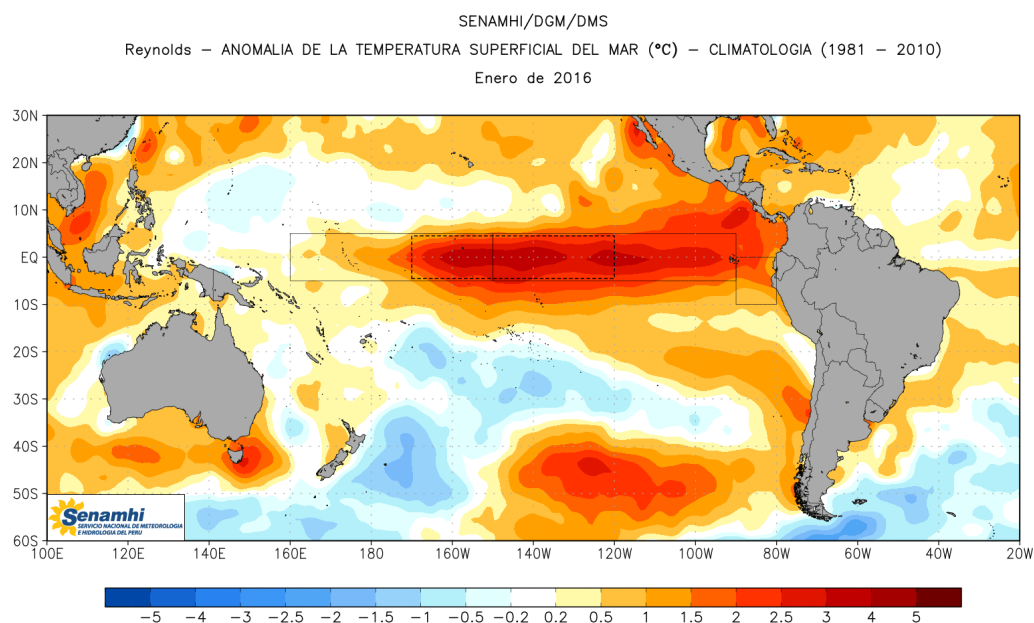
### 2.1.9 Condiciones Sinópticas (diciembre 2015-enero2016)

Durante el periodo comprendido entre 20 de diciembre 2015 al 20 de enero 2016, se presentó condiciones cálidas en el Pacífico Ecuatorial Central, considerado el mayor calentamiento en la historia de los datos tomados, según el índice ONI, este calentamiento mayor a un grado estuvo desde el promedio de los meses de abril, mayo y junio (AMJ), registrando 2,6 para el promedio de noviembre, diciembre y enero (NDJ), considerado el mayor en el registro de los datos históricos tomados desde 1950, además los mayores calentamientos se dieron en promedio entre los meses de noviembre, diciembre y enero de los años: 1972 de 2.1, 1997 de 2,4 y 1982 de 2,2, respectivamente. En las figuras 6-a y 6-b, se observa la anomalía de la Temperatura Superficial del Mar de los meses de diciembre 2015 y enero 2016. Se muestra muy notoriamente el calentamiento en el Océano Pacífico central, en el mes de diciembre 2015 a diferencia del mes de enero 2016, un mayor calentamiento frente a las costas de Ecuador y Perú, frente a las costas peruanas la anomalía sólo se observa hasta de un grado. En el Pacífico Oriental no mostro un calentamiento significativo como se muestra los datos del instituto del Mar de Perú, esto se debería a que el impacto de las Ondas Kelvin cálidas, no fue significativo en las costas de Perú.



Fuente: <http://ftp.emc.ncep.noaa.gov/>

(a)

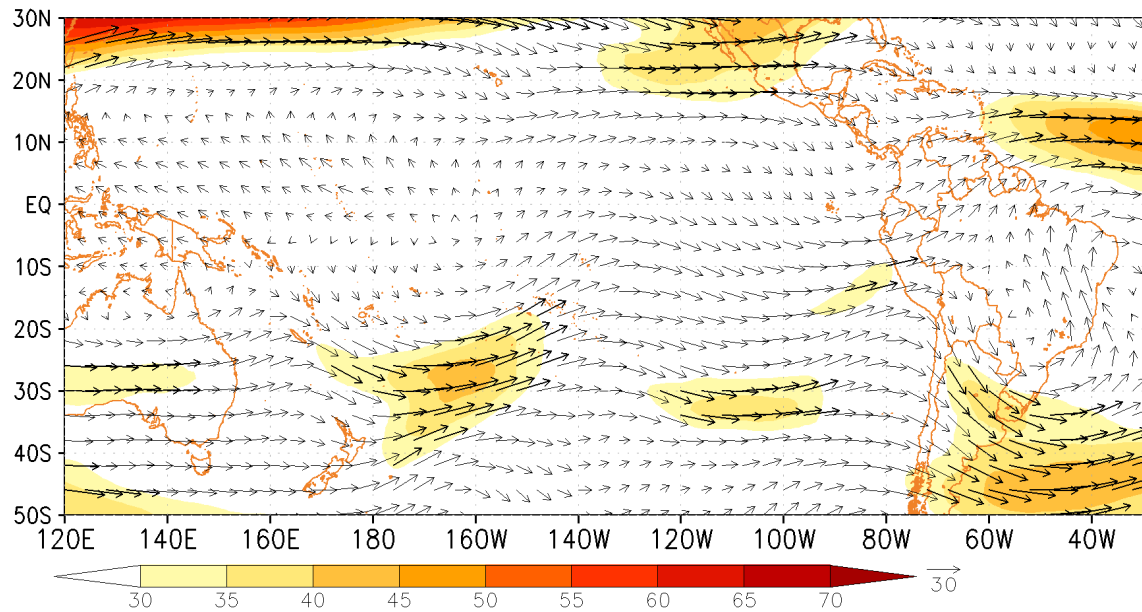


(b)

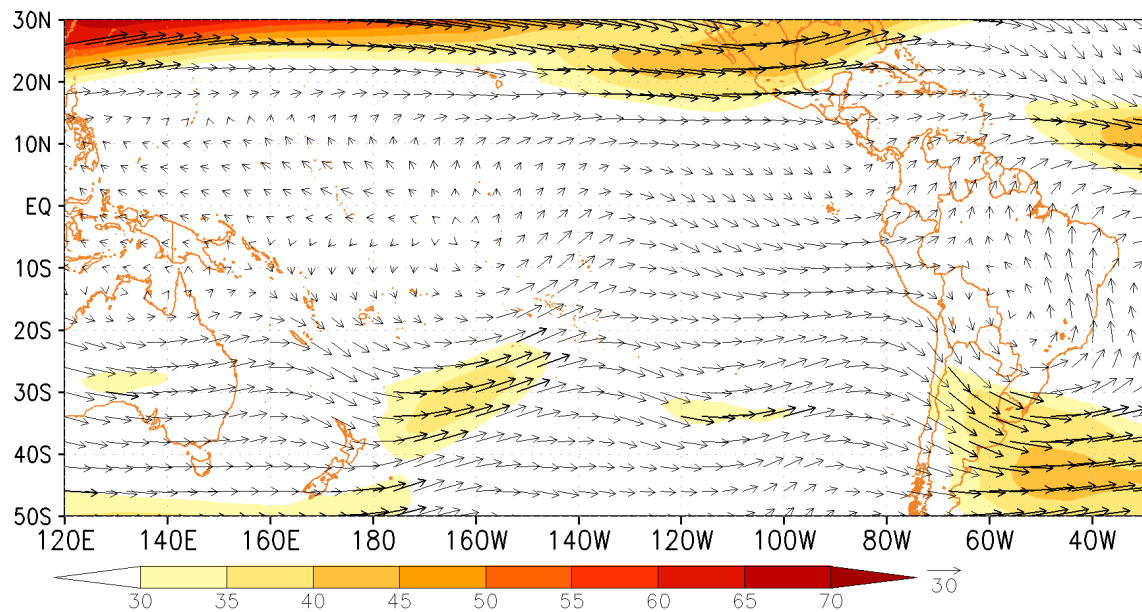
**Figura 6** Anomalía de la Temperatura Superficial del Mar, (a) diciembre 2015, (b) enero 2016.

Fuente: SENAMHI

En niveles altos de la troposfera aproximadamente 200 hPa (aproximadamente 12km de altura) para el periodo comprendido entre el 20 de diciembre 2015 y el 20 de enero 2016, se observa los flujos de vientos que van de oeste a este, sobre la región tropical desde los 14°W hasta cruzar todo el territorio peruano y desviarse hacia el noreste, esté bifurcación es debido a la presencia de la vaguada del noreste de Brasil (VNB), mientras que la Alta de Bolivia (AB) no presenta una buena configuración donde se observa que esta retirada hacia el sureste de su posición climatológica normal, lo cual refleja en una baja divergencia en altura y en consecuencia baja convección, los vientos en altura como se muestran con flujos zonales del oeste, según la intensidad por cizalladura va repercutiendo en niveles medios y bajos de la troposfera, así mismo este flujo favorece el retiro de la humedad en costa y sierra norte y central. Está configuración atmosférica de vientos del oeste incentiva la subsidencia, suprimiendo toda actividad convectiva en la troposfera, está se observa sobre la zona norte y central del Perú, es decir no favorece las precipitaciones.



(a)

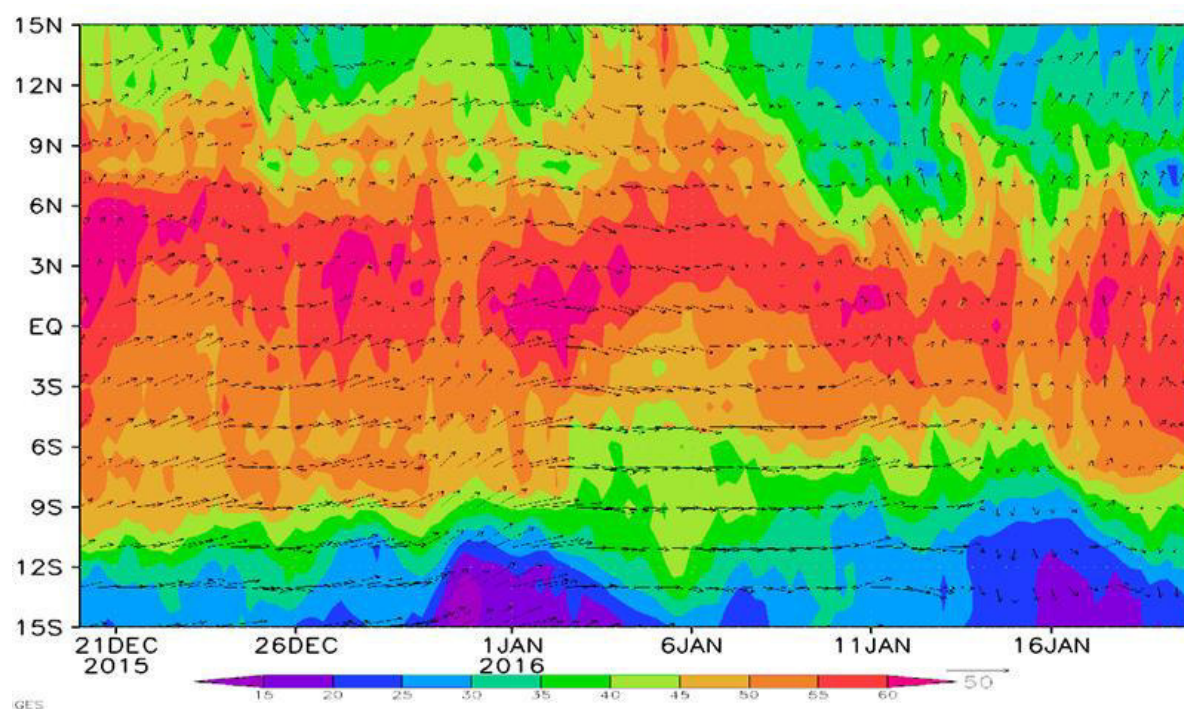


(b)

**Figura 7** Patrón de circulación en alta troposfera en 200hPa (flechas negras: viento y matiz de colores: magnitud de viento) (a) 20dic2015-05ene2016 (b) 06ene2016-20ene2016.

Fuente: Propia con datos NCEP.

El comportamiento temporal entre el 20 de diciembre 2015 y 20 de enero 2016, se observa en el campo de vientos en 200 hPa, se muestra persistente del oeste en gran parte de la franja ecuatorial como muestra la figura 7-a, en el transcurso del periodo muestra un ligero cambio hacia finales del 20 de enero, figura 7-b. Respecto al agua precipitable muestra valores por encima de los 45 mm, siendo lo más alto próximo a los 55 mm en zonas cercanas a la región Tumbes (aproximadamente 3°S), noroeste de Perú cantidades considerables para generar convección. Así mismo se observa un cambio importante de valores de agua precipitable próximo a los 10° S, hasta inicios del 2016, para confinarse hacia el norte para los primeros 10 días del 2016 y los siguientes 10 días volver a su estado inicial, sin embargo, la subsidencia provocada por los patrones de viento de los oestes no favoreció que estos valores de agua precipitable apoyen a convección en la zona central del Perú, figura 8.



**Figura 8** Diagrama de Hovmoller (81°W): Agua precipitable (matiz de colores, mm) y viento en 200 hPa (flechas, m/s en 200hPa)

Fuente: Propia con datos NCEP.



### 2.1.10 Estación Meteorológica Convencional

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos. Las estaciones meteorológicas están a cargo de un observador el cual realiza las medidas a las 7:00 am, 12:00 m y a las 7:00pm todos los días del año, estos datos son enviados en dos modalidades una vía telefónica a través de un aplicativo que se conecta directamente con la base de datos del SENAMHI, y la otra modalidad es a través del llenado de una planilla el cual se entrega mensualmente a la dirección zonal a la que pertenecen. Toda esta información está organizada bajo el Sistema Mundial de Observación (SMO), figura 9 es la Estación Convencional Santa Ana, ubicada en el departamento de Junín, provincia de Huancayo, distrito de El Tambo a 3295 msnm.



**Figura 9** Sistema Mundial de Observación (SMO)

Fuente: SENAMHI

## 2.1.11 Imágenes de Satélite

### 2.1.11.1 Imagen Infrarroja

El canal infrarrojo de onda larga cubre una región centrada en 10.7 micrómetros de la ventana infrarroja del espectro de la atmósfera terrestre. En esta longitud de onda, la energía irradiada por la superficie terrestre y las nubes casi no sufre los efectos de atenuación causada por los gases atmosféricos. En este canal, la emisividad de la mayoría de las superficies y los tipos nubes se acerca a 1, siendo los cirros delgados una excepción notable.

Por lo tanto, la temperatura de brillo percibida por el satélite es cercana a la temperatura real de la capa superficial del suelo o de los toques de las nubes, excepto en el caso de cirros delgados, las variaciones de temperatura son más evidentes sobre el suelo que sobre el agua.

Los cirros gruesos, como los que se desarrollan sobre el núcleo de las tormentas convectivas, son opacos a la radiación infrarroja emitida por la Tierra, de modo que el satélite detecta únicamente la radiación emitida por los toques de las nubes. Puesto que a 10.7  $\mu\text{m}$  la emisividad de estas nubes se acerca a 1, la temperatura de brillo percibida en el canal de 10.7  $\mu\text{m}$  es un buen indicador de la temperatura en la cima de las nubes.

Para los cirros más delgados corriente abajo de las tormentas convectivas y también a lo largo del borde de los yunques. La emisividad de estas nubes es inferior a 1. Parte de la energía de las capas inferiores atraviesa la nube, a la vez que la nube también absorbe y emite energía. Por lo tanto, en el canal de 10.7  $\mu\text{m}$  la temperatura del tope de los cirros delgados parece más alta de lo que es en la realidad.

En el Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 13, la incertidumbre radiométrica de canal de 10.7  $\mu\text{m}$  se ha reducido a  $\pm 0.09$  unidades de radiancia, es decir, un 50 por ciento menos de lo que era en los generadores de imágenes de los GOES anteriores. La incertidumbre asociada a la temperatura aumenta conforme disminuye la temperatura para éste y los demás canales infrarrojos. Aquí la incertidumbre en la temperatura es  $\pm 0.053$  °C a 300 K y  $\pm 0.125$  °C a 230 K. En las imágenes de satélite, se observe como los detalles en los toques fríos de la tormenta y las estructuras cálidas de la superficie no presentan ruido.

El canal visible de los GOES tiene una resolución espacial 16 veces mayor que el canal infrarrojo. En muchos casos, esta mayor resolución revela que algunos campos de visión en el infrarrojo sólo están parcialmente cubiertos de nubes. Esto significa que la temperatura de emisión percibida se encuentra en algún punto entre la de la nube y la de la superficie terrestre. Se han desarrollado varias técnicas para determinar la temperatura de las nubes, las cuales utilizan la temperatura de emisión medida en un píxel parcialmente nublado y la de un píxel contiguo despejado.

En resumen el canal infrarrojo al presentar poca atenuación atmosférica, revela las temperaturas en la superficie y en los toques de las nubes, por lo tanto es un buen instrumento para ver la cobertura nubosa baja, media y alta en especial de noche, el cual resalta mejor el tope y su estructura de la nube, la estructura de agua tiene una alta reflexividad que hace más fácil identificar, con lo cual nos da una idea de la estructura del tope de la nube para poder identificar su desarrollo vertical, se usa para estimar la intensidad de las tormentas y la lluvia y para observar las estructuras nubosas a lo largo del tiempo y para estimar los movimientos atmosféricos. Para tener una aproximación a que altura se encuentra el tope de la nube se usa la variación del gradiente de temperatura con la altura. [www.meted.ucar.edu](http://www.meted.ucar.edu). (2012).

#### ***2.1.11.2 Imagen de Vapor de Agua***

El canal de vapor de agua del instrumento a bordo de los GOES corresponde a la región infrarroja centrado de 6.5  $\mu\text{m}$ , donde el espectro de emisión de la Tierra es fuertemente atenuado por las moléculas de agua. En consecuencia, este canal detecta la radiación emitida en los niveles medios y altos de la atmósfera, tanto por el vapor de agua como por las nubes.

Como las circulaciones atmosféricas transportan el vapor de agua, este canal permite detectar las características del flujo de mesoescala y los patrones hemisféricos.

El contenido de vapor de agua es muy variable, tanto en la horizontal como en la vertical, a lo largo de la troposfera media y alta, y el canal de vapor de agua es muy sensible a esta variabilidad.

Este canal de los GOES se caracteriza además por su alta sensibilidad radiométrica y bajo nivel de ruido. El rango de la escala de colores al pie de la imagen abarca desde condiciones cálidas y secas, a la derecha, hasta condiciones frías y nubladas,

a la izquierda. En esta imagen, las áreas secas son oscuras y de color naranja o rojo; los tonos grises más claros representan áreas cada vez más húmedas, mientras que los cirros y los topes de las nubes de las tormentas convectivas aparecen en tonos magenta, cian y verdes.

Un examen detenido de cada régimen (seco, húmedo o nublado) revela la ausencia casi total de ruido en estas imágenes. Este canal se puede utilizar para hacer el seguimiento de estructuras en aire sin nubes y para observar las temperaturas en los topes de las nubes de tormenta.

Como el contenido de vapor de agua es muy variable a través de la troposfera media y alta, tanto en la horizontal como en la vertical, el canal de vapor de agua resulta muy útil para detectar estructuras atmosféricas de pequeña y gran escala.

La mayor parte de la energía detectada sigue originándose del vapor de agua en una capa que se extiende de 500hPa a 200hPa, es decir de los denominados niveles medios a los niveles altos o superiores.

Observe, sin embargo, que la función de ponderación del canal de vapor de agua del GOES 13 alcanza un pico ligeramente inferior y cubre una capa atmosférica un poco más profunda, respecto a sus antecesores, observan la radiación ascendente y las señales de vapor de agua que se originan en una región algo más profunda de la troposfera.

El GOES 13 tiene un aspecto más cálido, especialmente en las regiones relativamente despejadas. El canal de vapor de agua detecta la radiación infrarroja de una capa de la troposfera media un poco más profunda, más baja y, en general, más cálida. Asimismo, los cirros presentes en esta vista se ven un poco más fríos. Esto se debe a la resolución (4 km) del canal de vapor de agua del GOES 13, es capaz de resolver estructuras nubosas más finas.

La mayor resolución de las imágenes de vapor de agua puede asistir en el análisis de estructuras de escala más pequeña y los mecanismos de forzamiento de mesoescala con ellas asociados, como las interacciones entre los chorros de mesoescala y la precipitación en invierno.

Asimismo, el GOES 13 puede detectar las ondas orográficas, un fenómeno que se asocia con frecuencia a la turbulencia en aire despejado, constituye un reto particular en ausencia de nubes. La mayor resolución (4 km) de las imágenes de vapor de agua

del GOES 13 ha aumentado considerablemente la capacidad de detectar las señales características de las ondas de gravedad (aire frío ascendente alternándose con aire cálido descendente).

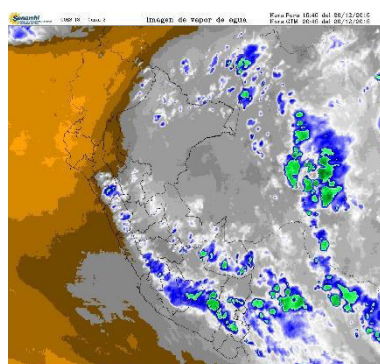
En resumen con una resolución de 4 km, permite detectar mejor las estructuras de mesoescala, como: advección de humedad en la troposfera media y alta, en la imágenes con la paleta de colores indican las temperaturas de las zonas más cálidas y secas y otras la temperatura neta de la capa húmeda que es más fría y más elevada, por lo tanto nos da una idea tridimensional del transporte de humedad en media y alta troposfera, asimismo los máximos locales de velocidad en las corrientes en chorro; las ondas inducidas por la orografía y la turbulencia asociada en aire claro; estructuras nubosas de escala muy finas. [www.meted.ucar.edu](http://www.meted.ucar.edu). (2012)

#### 2.1.12 Descripción de las Imágenes de Satélite.

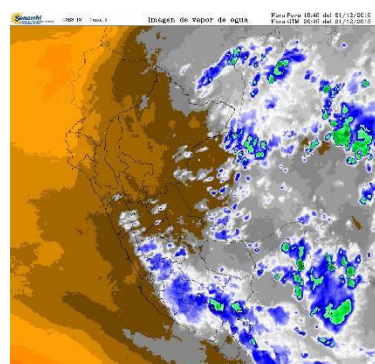
El presente trabajo se basa en un conjunto de análisis de la precipitación en la sierra norte y central, para el cual se ha analizado las imágenes de satélite del GOES 13, para el periodo desde el 20 de diciembre 2015 hasta 20 de enero de 2016.

Las imágenes de vapor de agua de la tabla 2, muestran una imagen diaria de las 20:45 UTM es decir de las 15:45 hora peruana, se usa esta hora por que para la sierra es el momento de un máximo desarrollo de sistemas convectivos de mesoescala.

**Tabla 3** Imágenes de Vapor de Agua. GOES 13

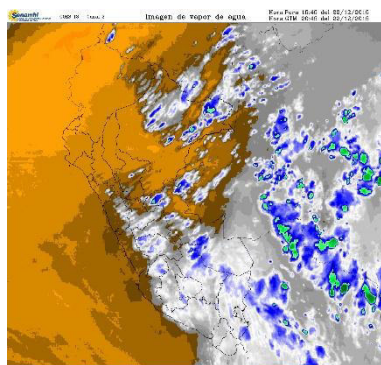


20 diciembre 2015

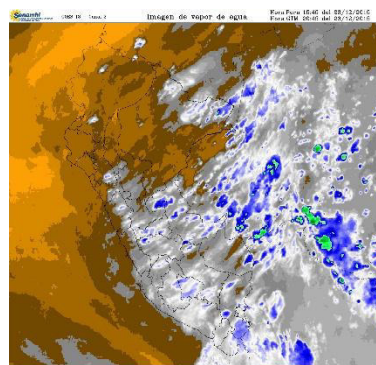


21 diciembre 2015

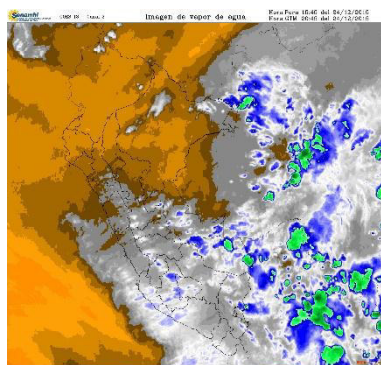




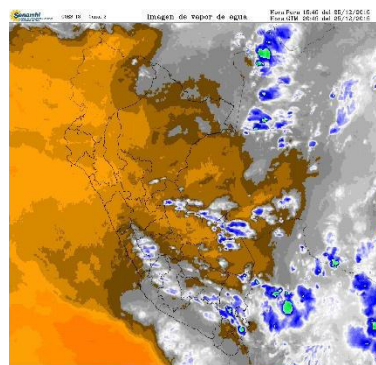
22 diciembre 2015



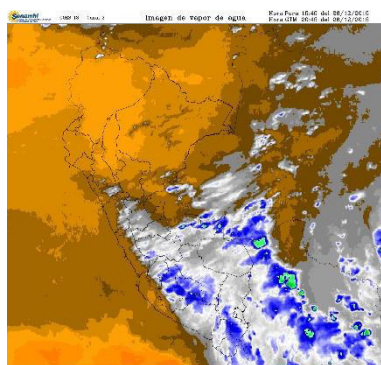
23 diciembre 2015



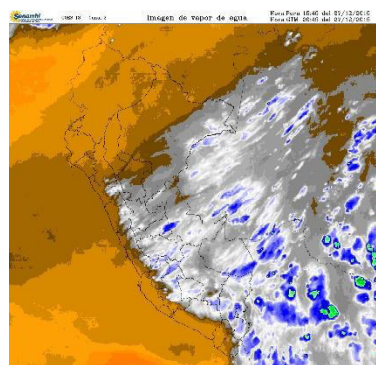
24 diciembre 2015



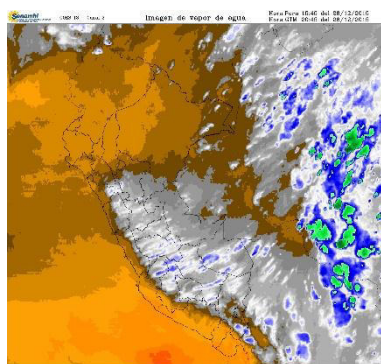
25 diciembre 2015



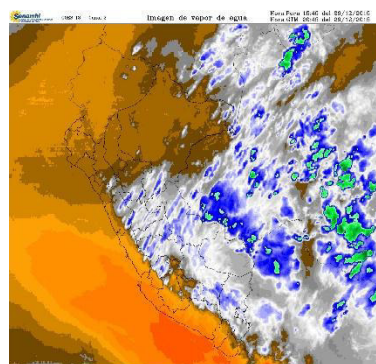
26 diciembre 2015



27 diciembre 2015

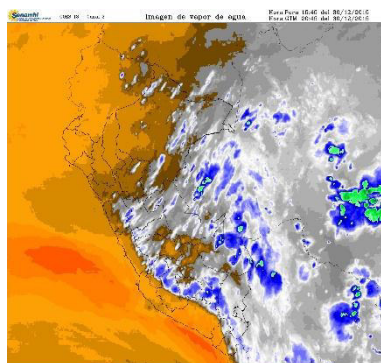


28 diciembre 2015

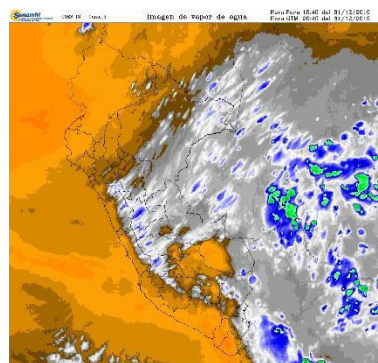


29 diciembre 2015

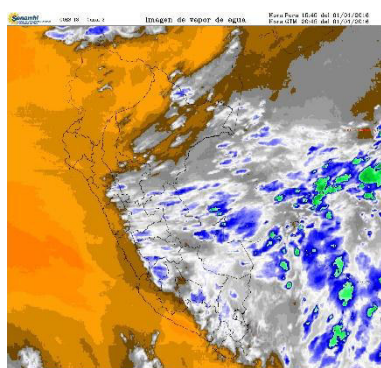




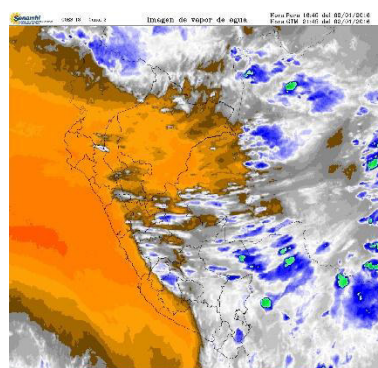
30 diciembre 2015



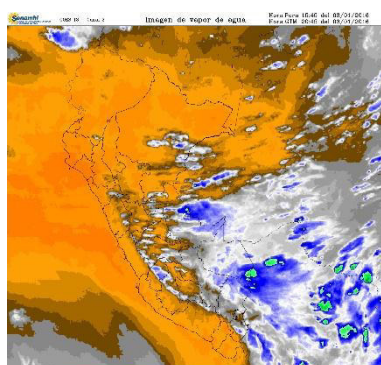
31 diciembre 2015



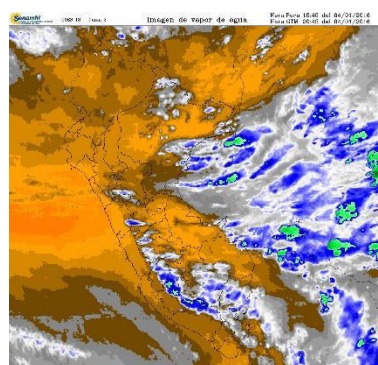
01 enero 2016



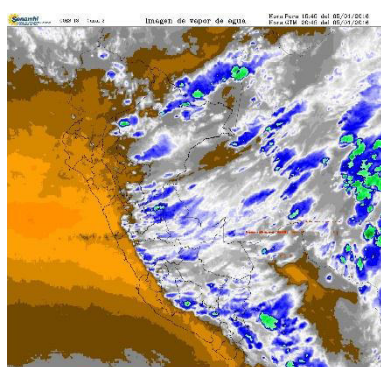
02 enero 2016



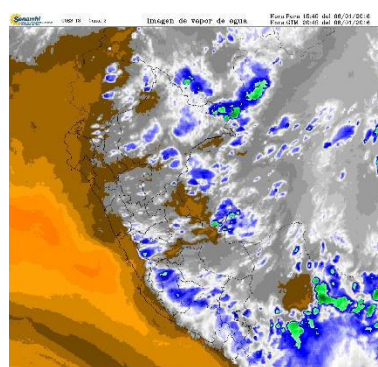
03 enero 2016



04 enero 2016

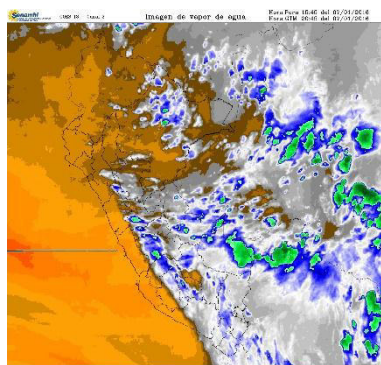


05 enero 2016

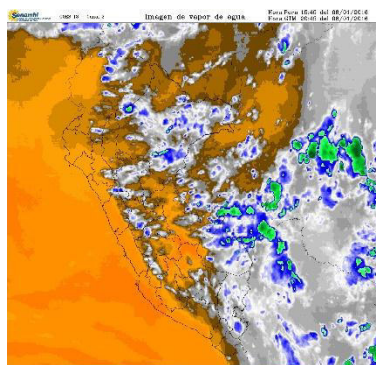


06 enero 2016

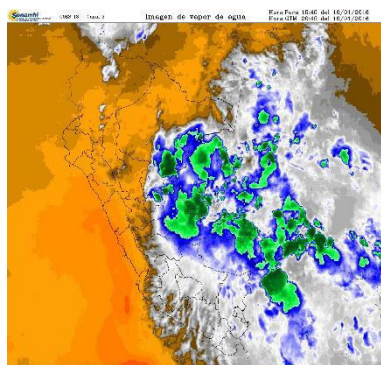




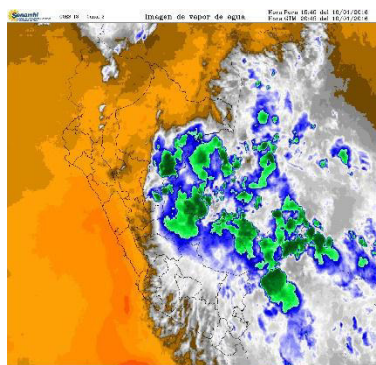
07 enero 2016



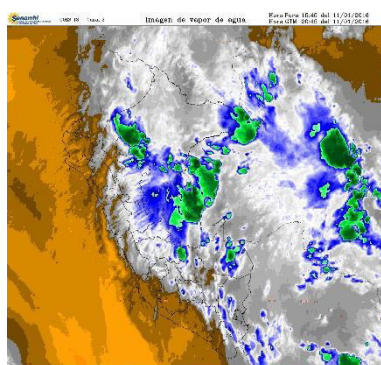
08 enero 2016



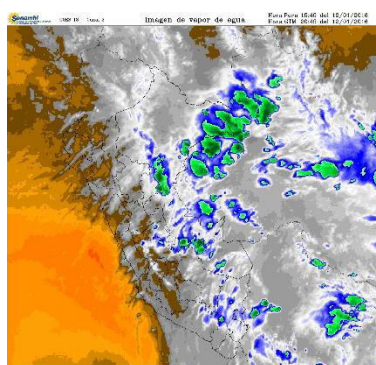
09 enero 2016



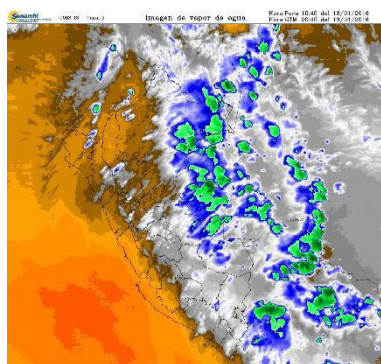
10 enero 2016



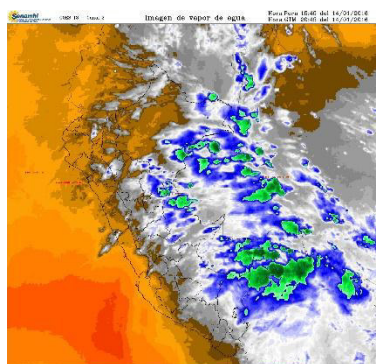
11 enero 2016



12 enero 2016

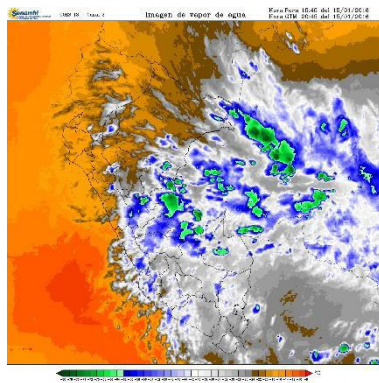


13 enero 2016

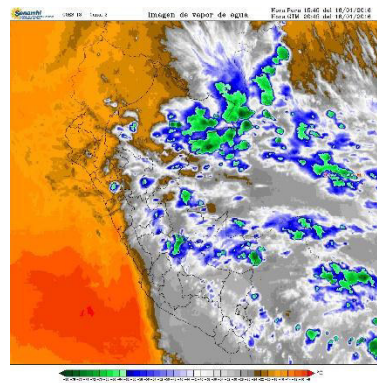


14 enero 2016

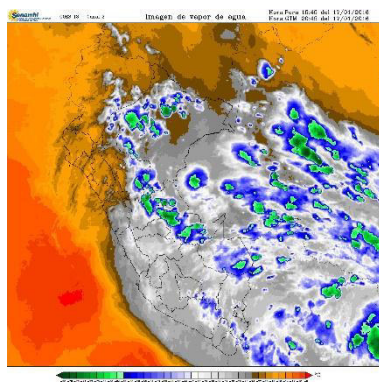




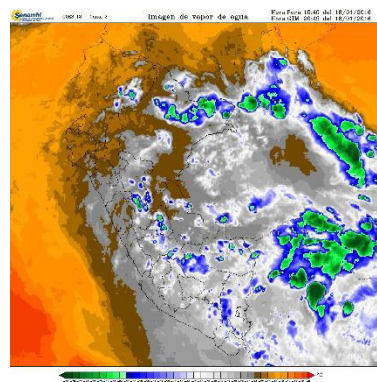
15 enero 2016



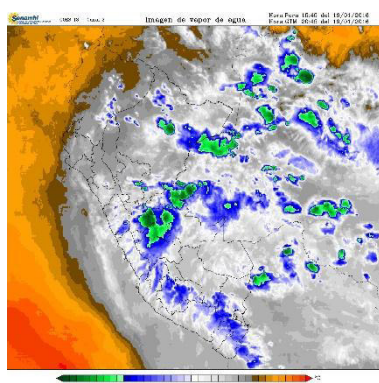
16 enero 2016



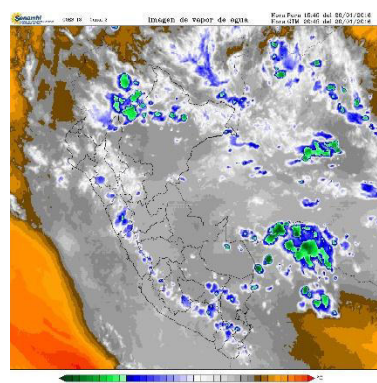
17 enero 2016



18 enero 2016



19 enero 2016



20 enero 2016

Fuente: SENAMHI

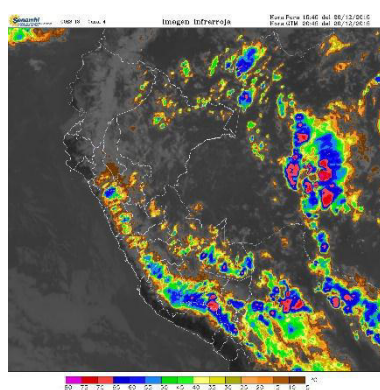
De la tabla 3 se observa, para el 20 de diciembre de 2015, se ha formado sistemas de desarrollo vertical sobre la vertiente occidental central hasta sur del departamento de Cajamarca, pero se observa condiciones de sequedad en la troposfera sobre la sierra de Piura y norte de Cajamarca, el 21 de diciembre 2015, observamos que la zona seca (escasa humedad), se extiende hasta norte de Ancash, los sistemas que forman en la vertiente occidental y oriental de la zona central, tienen a disipar rápidamente, 22 de diciembre 2015, se observa en forma similar zonas secas en la

zona sierra norte y en la zona central los sistemas convectivos que se han formado tiene a disipar rápidamente hacia el este, 23 de diciembre 2015, se observa la formación de dos sistemas convectivos muy marcados al sur de Cajamarca y norte de Ancash, asimismo se observa que ambos sistemas tienden a disipar rápidamente, similarmente a lo que sucede en la sierra central, 24 de diciembre 2015, se observa mayor ingreso de humedad en la zona central, pero sin ningún sistema de desarrollo vertical importante en la sierra norte y central, 25 de diciembre de 2015, se observa sequedad en la sierra norte y central hasta norte de Pasco, 26 de diciembre 2015, la sierra norte presenta condiciones secas hasta La Libertad, en la sierra central se observa humedad en disipación, 27 de diciembre 2015, se mantiene condiciones secas en la sierra norte (Piura, Cajamarca), sierra central muestra humedad, similarmente a días previos con condiciones de disipación, 28 de diciembre de 2015, la zonas donde se muestran condiciones secas es la costa donde se muestra con un mayor ingreso hacia la sierra central, en general la sierra se observa humedad sin ninguna actividad convectiva importante, 29 de diciembre de 2015, se observa humedad en la sierra norte y central desde sur del departamento Cajamarca hasta Huancavelica, donde se observa el desplazamiento hacia el este, marcado de los sistemas convectivos formado en la tarde es decir disipando las precipitaciones, 30 de diciembre 2015, se observa condiciones secas en la sierra norte y en la sierra central, muestra dos sistemas de desarrollo vertical importante sobre el este del departamento de Ancash, similarmente a días anteriores disipa rápidamente advectando hacia el este, 31 de diciembre de 2015, se observa que para el último día del año, continúan condiciones secas en la sierra norte y como todos los días se observa que se activa la cordillera occidental con un núcleo en el departamento de Ancash, disipando rápidamente en dirección este, 01 de enero de 2016, se observa que se han formados varios sistemas convectivos en los departamentos de: La Libertad, Huánuco, Pasco y Junín principalmente en la vertiente oriental y se muestran en estado de disipación hacia el este, 02 de enero de 2016, es la primera vez desde el 20 de diciembre de 2015 un sistema aislado al norte del departamento de Cajamarca, pero particularmente se observa zonas secas en casi toda la zona norte del Perú y en la vertiente occidental de la sierra central, 03 de diciembre 2016, este día se observa como el que tiene mayor área seca en la sierra norte y central, 04 de enero de 2016, se observa la formación de sistemas convectivos en la frontera de Ancash con Huánuco disipando hacia el lado este, asimismo se ve actividad en la vertiente

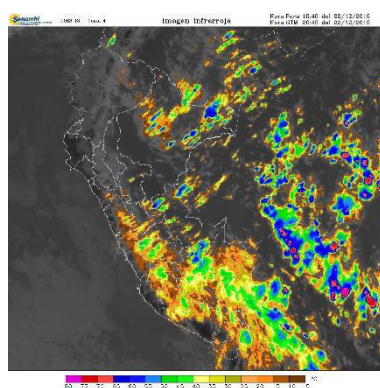
occidental central, 05 de enero de 2016, se observa mayor desarrollo convectivo en la vertiente occidental central se observa a diferencia de días pasados estables es decir con mayores acumulados de precipitación, 06 de enero de 2016, tenemos mayor humedad proveniente del este por trasvase y en la vertiente occidental se observa un sistema de gran desarrollo convectivo en la vertiente occidental del departamento de Junín, 07 de enero de 2016, respecto al día anterior ingreso de las condiciones secas en la vertiente occidental norte y central, en la vertiente oriental central se observa sistemas convectivos estables, 08 de enero de 2016, en la sierra norte y central se observa condiciones secas en la troposfera media y alta con algunos sistemas convectivos estables y muy dispersos, 09 de enero de 2016, condiciones secas en general con la formación de un sistema convectivo entre los departamentos de Cajamarca y Amazonas, 10 de enero de 2016, en la sierra norte se observa condiciones secas, en la sierra central se observa humedad pero sin ningún sistema convectivo, 11 de enero de 2016, se observa mayor humedad en la sierra norte y central sin sistemas de gran desarrollo, 12 de enero de 2016, se observa mayor humedad en la sierra norte y central con un sistema convectivo muy puntual al norte de Junín, 13 de enero de 2016, teniendo los sistemas convectivos activos en la selva peruana se observa aporte de humedad en la sierra norte y central, 14 de enero 2016, continua la actividad en la selva peruana favoreciendo la humedad en la sierra central (vertiente oriental), en la sierra norte se observa sistemas aislados, desde el 15 al 18 de enero de 2016, el aporte de humedad va incrementándose gradualmente hacia la sierra norte y central, 19 de enero 2016, ya se observa humedad significativa en sierra principalmente en la zona central, 20 de enero de 2016, se observa humedad en todo el territorio peruano con formación de sistemas convectivos de meso escala en la vertiente occidental desde el sur de Cajamarca hasta zonas altas de Tacna.



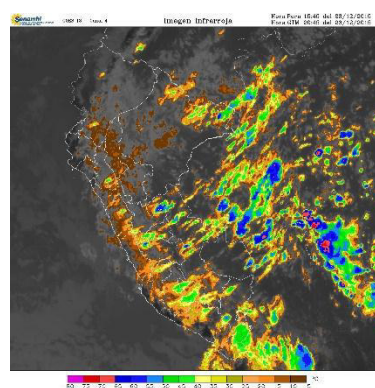
**Tabla 4** Imágenes Infrarroja. GOES 13



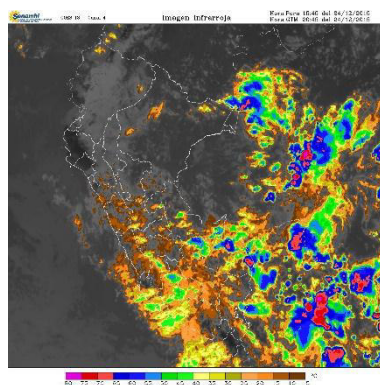
20 diciembre 2015



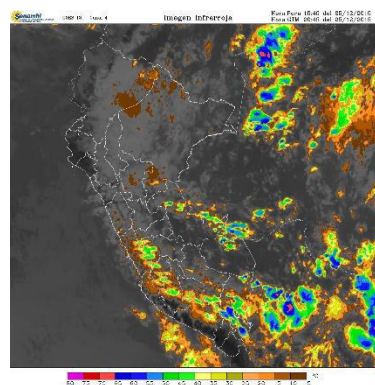
21 diciembre 2015



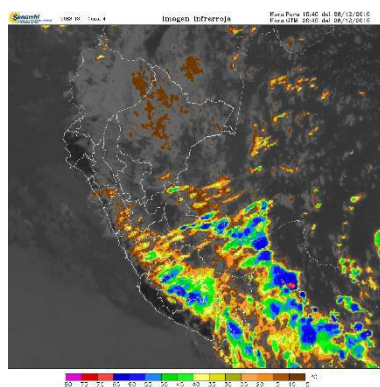
22 diciembre 2015



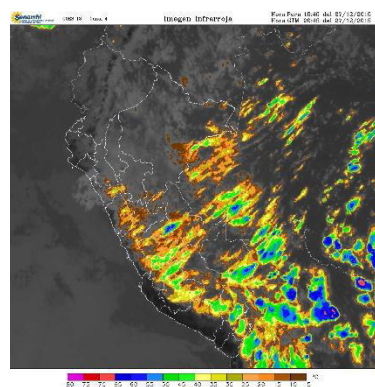
23 diciembre 2015



24 diciembre 2015

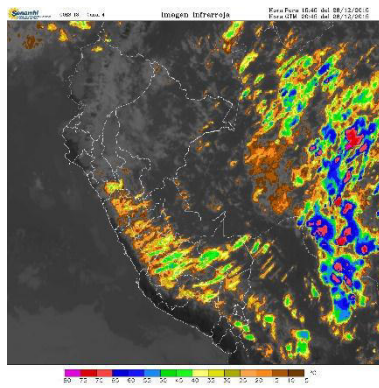


25 diciembre 2015

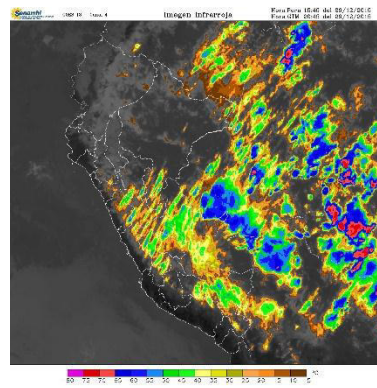


26 diciembre 2015

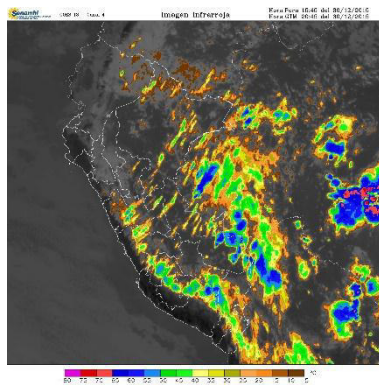
27 diciembre 2015



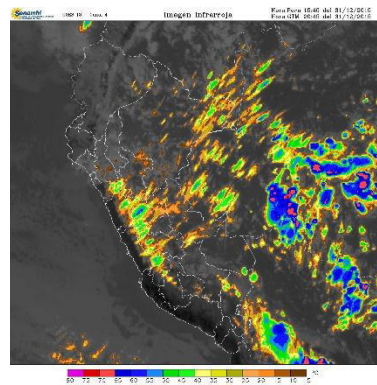
28 diciembre 2015



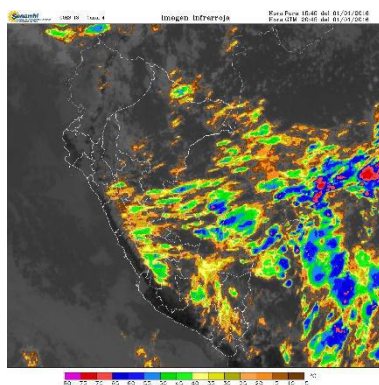
29 diciembre 2015



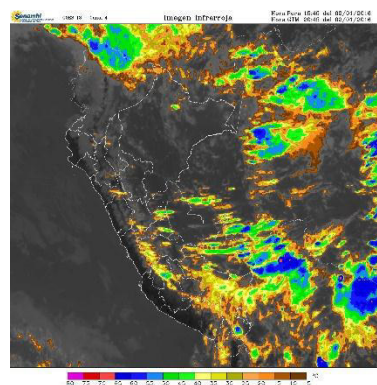
30 diciembre 2015



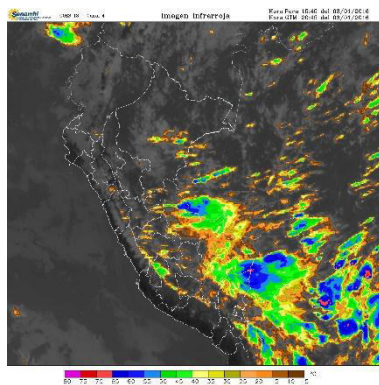
31 diciembre 2015



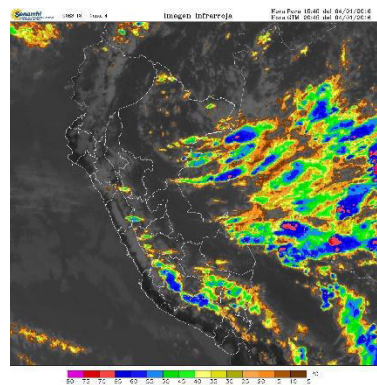
01 enero 2016



02 enero 2016

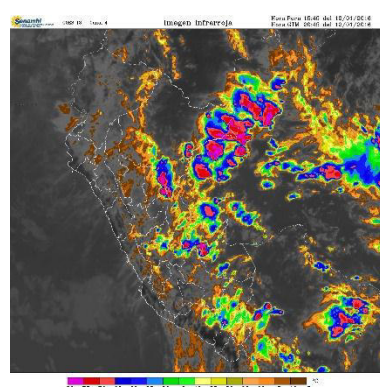
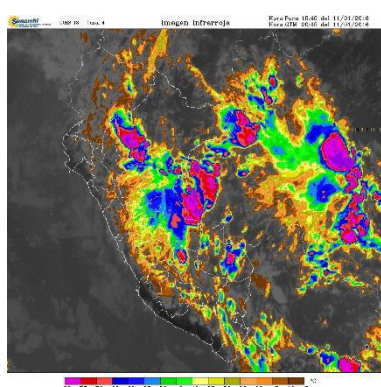
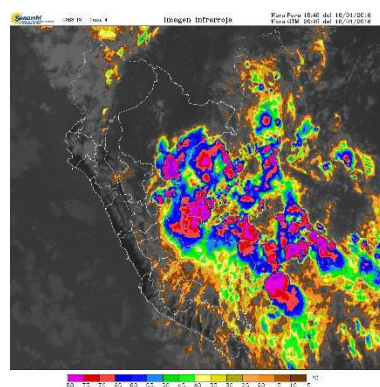
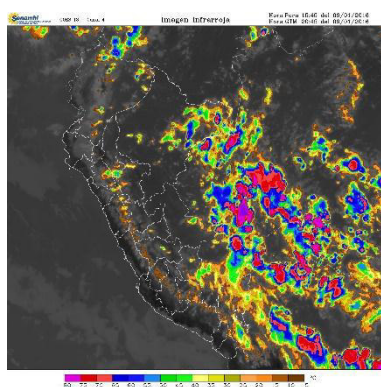
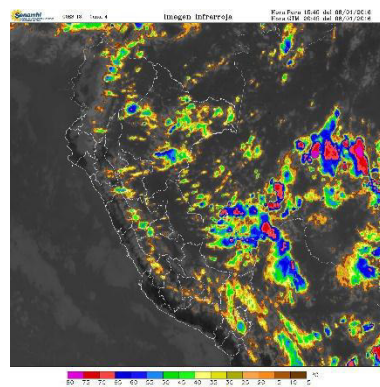
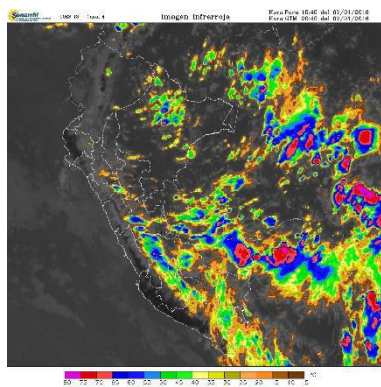
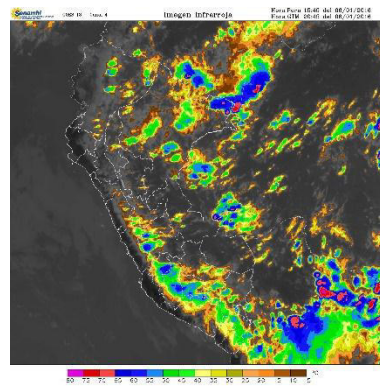
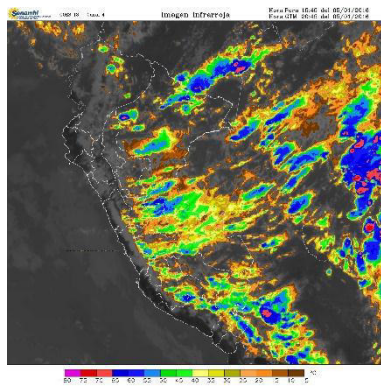


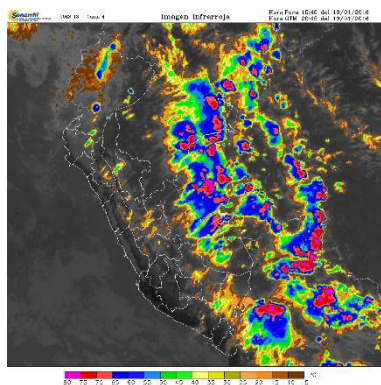
03 enero 2016



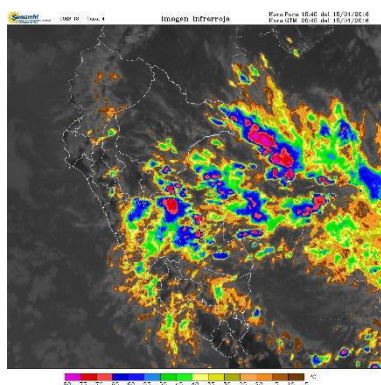
04 enero 2016



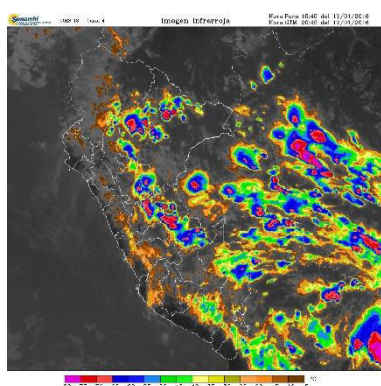




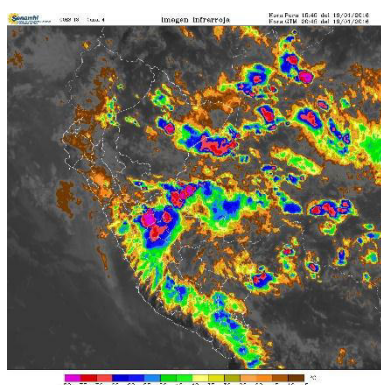
13 enero 2016



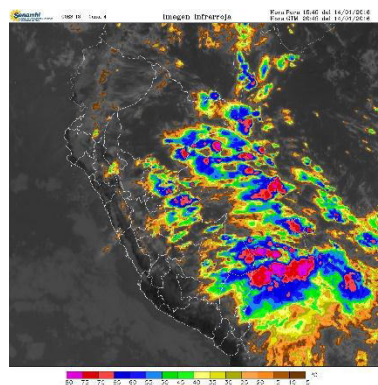
15 enero 2016



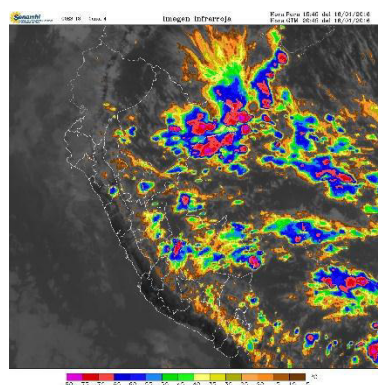
17 enero 2016



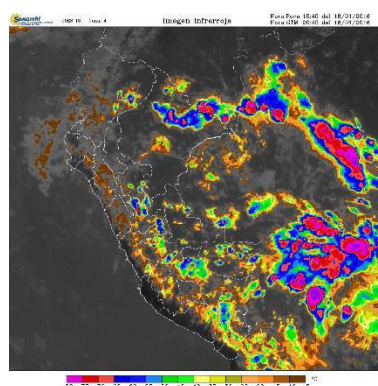
19 enero 2016



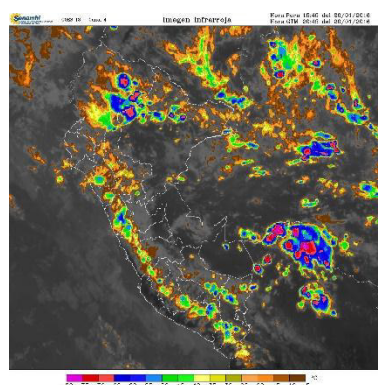
14 enero 2016



16 enero 2016



18 enero 2016



20 enero 2016

Fuente: SENAMHI

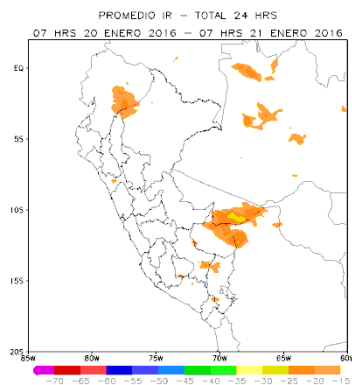


De la tabla 4, de imágenes de satélite infrarrojas de las 20:45 GTM o 15:45 hora peruana, donde se observa principalmente el comportamiento de las nubes en su formación de sistemas convectivos de mesoescala. El 20 de diciembre de 2015, se observa actividad convectiva es decir nubes de desarrollo vertical que son las que en general producen precipitaciones, estas nubes se ven en la vertiente occidental norte (desde sur Cajamarca) y central, del 21 al 26 de diciembre de 2015, no se observa la formación de sistemas convectivos en la sierra norte en ambas vertientes, solo el 23 de diciembre de 2015, se observa un sistema sistemas aislados en Cajamarca y Ancash, en la sierra central si se observa formación de sistemas convectivos aislados que están en disipación con desplazamiento hacia el oeste, sin ningún sistema de gran desarrollo vertical importante, 27, 28 y 29 de diciembre de 2015, se observa en la sierra norte (vertiente occidental, del departamento de La Libertad) la formación de un sistema convectivo en disipación con dirección oeste, en la sierra central la formación de nubes de gran desarrollo pasa desapercibida por la disipación que se observa por los vientos que los desplazan con dirección al oeste, 30, 31 de diciembre de 2015 y 01 de enero de 2016, se observa la formación de sistemas convectivos en la sierra norte desde Cajamarca hasta La Libertad y en la sierra central (vertiente occidental) en ambos casos tienen a disipar, desde el 02 al 04 de enero de 2016 se observa escasas nubes de desarrollo vertical en la sierra norte y central, solo en forma aislada en la sierra central (vertiente occidental), con disipación hacia el oeste, 05 de enero de 2016 se observa mayor actividad convectiva en especial al otro lado de la cordillera con disipación hacia el oeste, 06 y 07 de enero de 2016 s se observa mayor actividad convectiva en la sierra central (vertiente oriental), con algunos sistemas puntuales de gran desarrollo vertical como al sur de Junín sobre el valle del Mantaro, el 07 de enero, en la sierra norte (vertiente oriental) se observa un sistema importante en La Libertad, segundo desde el 20 de diciembre de 2015, del 08 al 10 de enero de 2016 se observa sistemas convectivos aislados en la sierra norte y central, el día 10 de enero se observa sistemas de gran desarrollo vertical en la selva central y sur, el 11 de enero de 2016, se observa en la sierra central formación de sistemas convectivos favorecidos por la advección de humedad desde la selva, en la sierra norte sistemas aislados, 12, 13 y 14 de enero de 2016, se observa escasa formación de sistemas convectivos en sierra central y sur, el 15 de enero de 2016, se observa formación de sistemas convectivos en la sierra central por el ingreso de humedad de la selva y en la sierra norte formación de sistemas aislados, el 16 de enero de 2016

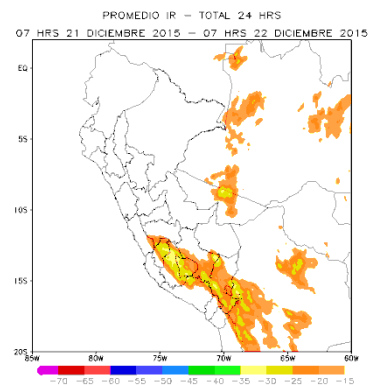


se observa un sistema aislado de gran desarrollo vertical en La Libertad, sierra central y norte sin otro sistema convectivo más, los días 17 y 18 de enero 2016, se observa escasa formación de sistemas convectivos en la sierra norte y central, el 19 de enero de 2016, se observa ingreso de humedad de la selva central y formación de sistemas convectivos en la sierra central principalmente, en la sierra norte sistemas aislados, el 20 de enero de 2016, se observa sistemas convectivos nuevamente en la vertiente occidental norte y central con gran desarrollo vertical sobre Ancash.

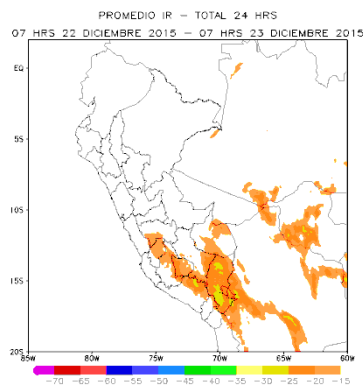
**Tabla 5** Imágenes Infrarroja Promedio de 24 horas. GOES 13



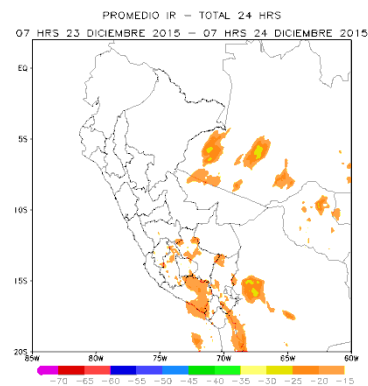
20 diciembre 2015



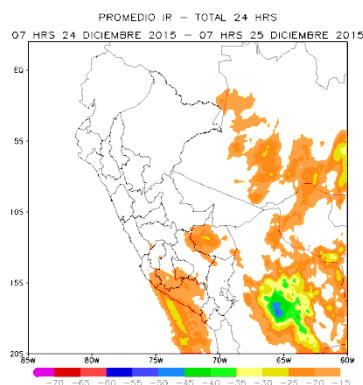
21 diciembre 2015



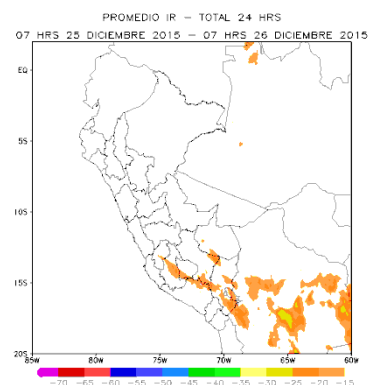
22 diciembre 2015



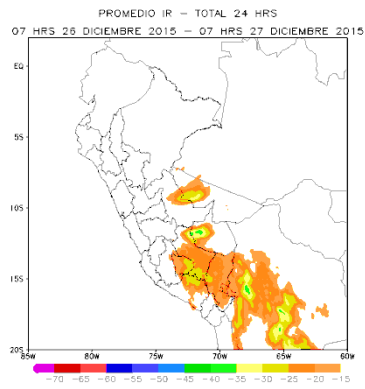
23 diciembre 2015



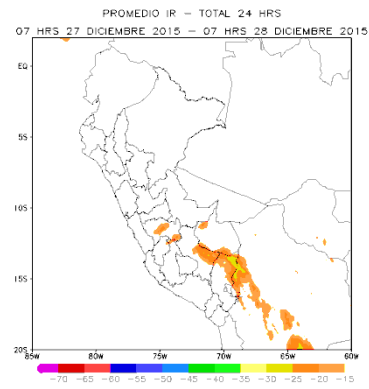
24 diciembre 2015



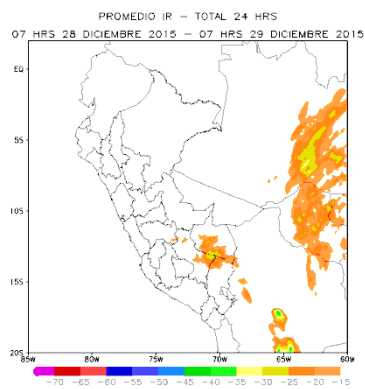
25 diciembre 2015



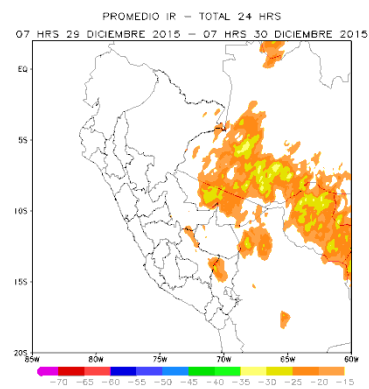
26 diciembre 2015



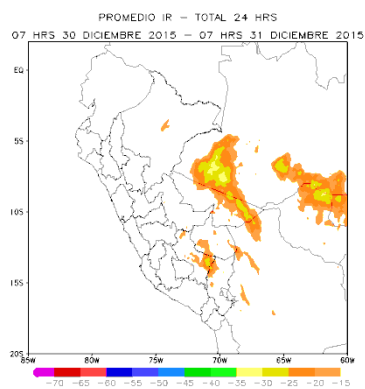
27 diciembre 2015



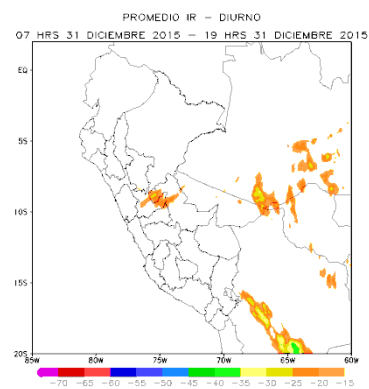
28 diciembre 2015



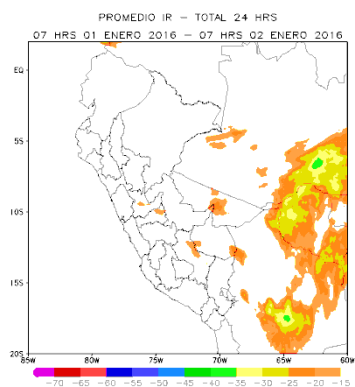
29 diciembre 2015



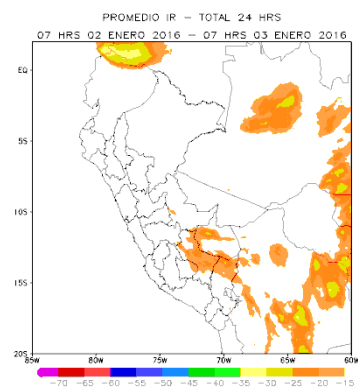
30 diciembre 2015



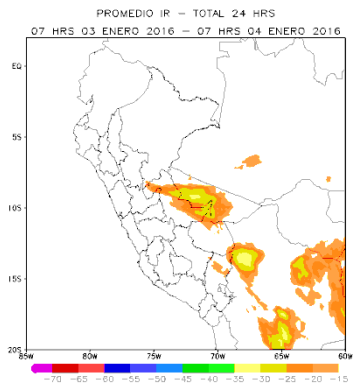
31 diciembre 2015



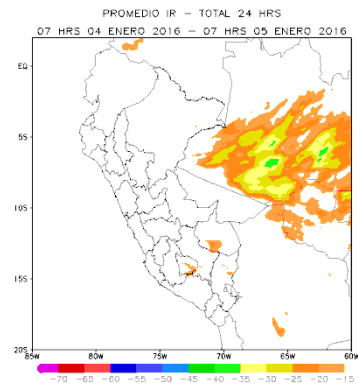
01 enero 2016



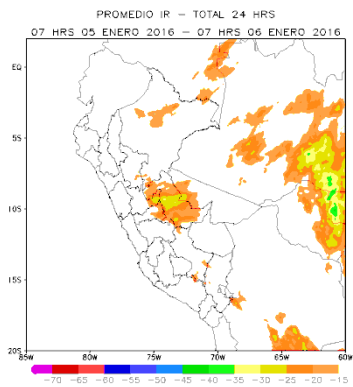
02 enero 2016



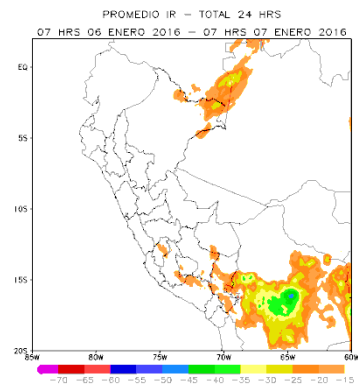
03 enero 2016



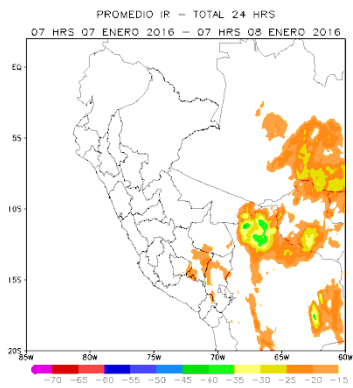
04 enero 2016



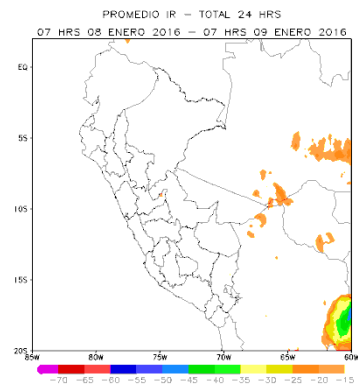
05 enero 2016



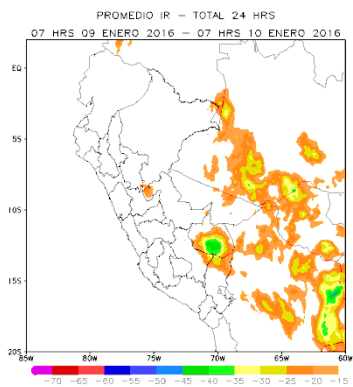
06 enero 2016



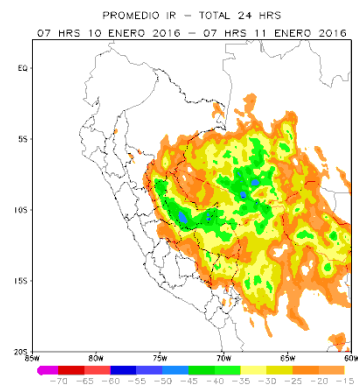
07 enero 2016



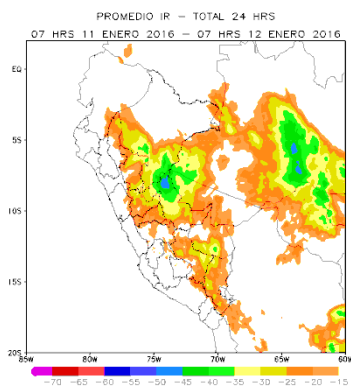
08 enero 2016



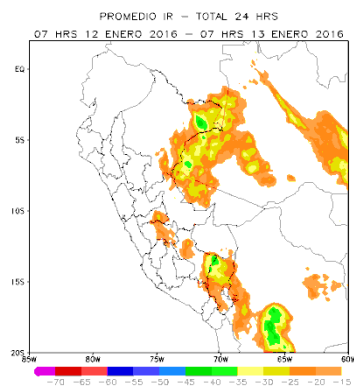
09 enero 2016



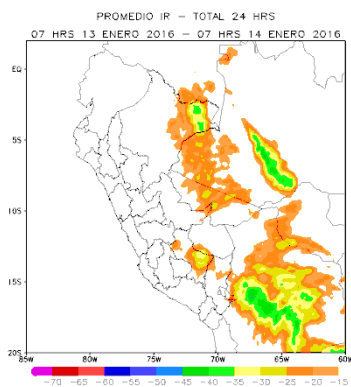
10 enero 2016



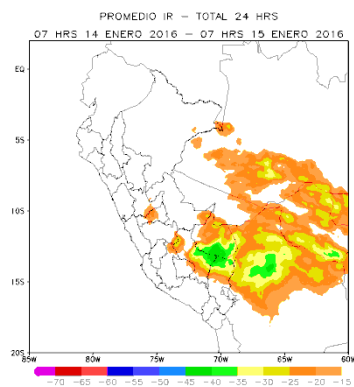
11 enero 2016



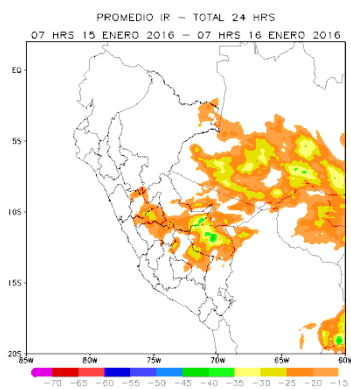
12 enero 2016



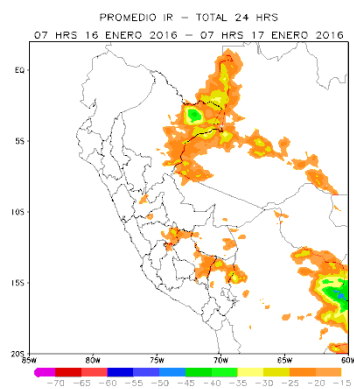
13 enero 2016



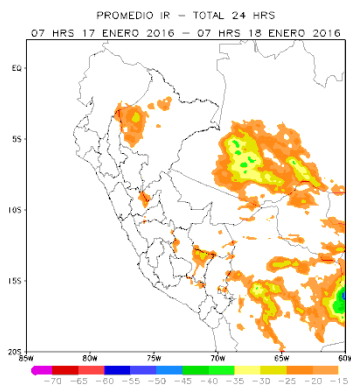
14 enero 2016



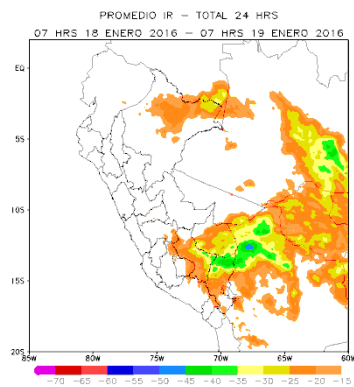
15 enero 2016



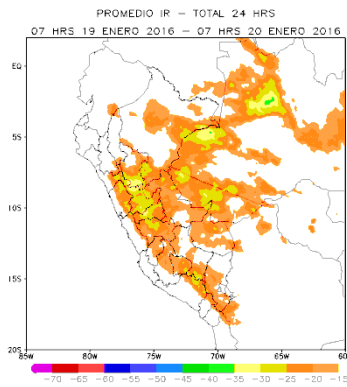
16 enero 2016



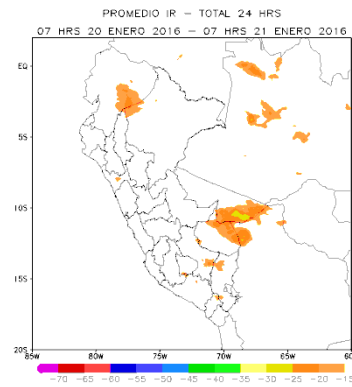
17 enero 2016



18 enero 2016



19 enero 2016



20 enero 2016

Fuente: SENAMHI

De la tabla 5, de las imágenes infrarrojos promedio de las 24 horas, son imágenes que se han sido tratadas por intermedio del software Grid Analysis and Display System (GrADS), de visualización de datos, de donde se usó los datos binarios de las imágenes infrarrojas para sumarlas y tener un promedio diario de las últimas 24 horas, en este caso es desde las 7:00 de la mañana hasta las 7:00 de la mañana del día siguiente. Estas imágenes sirven para ver los sistemas convectivos de mesoescala de gran desarrollo vertical y las precipitaciones intensas en las últimas 24 horas o en el día. Para el objetivo de investigación es ver cómo fue las precipitaciones intensas si es que las hubo entre el periodo del 20 de diciembre de 2015 hasta 20 de enero de 2016.

En la sierra norte y central no se observan sistemas convectivos de gran desarrollo vertical a excepción del 10, 11 y 19 de enero de 2016, que se observa en la sierra central (vertiente oriental), nubes de gran desarrollo vertical.

### 2.1.13 Coeficiente de correlación de PEARSON

En el análisis de una variable independiente y una variable dependiente, donde la relación entre variables se aproxima a una línea recta, se dice que es una regresión lineal simple. El Coeficiente de correlación de PEARSON es la medida de la regresión lineal de dos variables, a diferencia de la covarianza es independiente de la escala de medida de las variables.

El coeficiente de Pearson no es robusto por que las relaciones fuertes no son lineales entre las dos variables, pero se usa porque su forma ayuda la manipulación matemática y está relacionada estrechamente con el análisis de la regresión.

La correlación de Pearson tiene dos propiedades importantes: primero está limitada por -1 y 1 es decir  $-1 \leq r_{xy} \leq 1$  y la segunda es el cuadrado de la correlación de Pearson especifica la proporción de variabilidad de una de variable explicada por el otro, pero la interpretación puede ser imprecisa. El Coeficiente de correlación no proporciona ninguna explicación sobre la relación entre las variables x e y. (Wilks Daniel 2006).

La correlación de Pearson es esencialmente una no dimensionalizada covarianza entre dos variables. Entonces tenemos:

$$s_{xy}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Donde  $x_i$  indica el valor de la variable uno para el individuo i,  $y_i$  indica el valor de la variable dos, con la diferencia de las medias de cada variable, el cálculo de la desviación de cada variable se da de la siguiente manera:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Entonces tenemos de los cálculos obtenidos de la desviación, se calcula el coeficiente de correlación de Pearson:

$$r = \frac{s_{xy}^2}{s_x s_y}$$

## Interpretación

Varios grupos de puntos  $(x, y)$ , con el coeficiente de correlación para cada grupo. Nótese que la correlación refleja la no linealidad y la dirección de la relación lineal.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo  $[-1,1]$ :

Si  $r = 1$ , existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si  $0 < r < 1$ , existe una correlación positiva.

Si  $r = 0$ , no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

Si  $-1 < r < 0$ , existe una correlación negativa.

Si  $r = -1$ , existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

### 2.1.14 Percentiles

Los percentiles son estadísticas de posición muy útiles para describir un conjunto de datos. En forma intuitiva podemos decir que es un valor tal que supera un determinado porcentaje del conjunto de datos.

Su definición es:

Sea  $q$  un número real tal que,  $0 \leq q \leq 100$  el percentil  $q$  ( $p_q$ ) es un valor de las observaciones tal que:

- 1.- A lo menos  $q\%$  de las observaciones son menores o iguales que  $p_q$ .
- 2.- A lo menos  $(100 - q) \%$  de las observaciones son mayores o iguales que  $p_q$ .

Para obtener el percentil  $0 \leq q \leq 100$ , se ordenan de mayor a menor y se calcula el número  $\frac{n*q}{100}$ .

Si  $\frac{n*q}{100}$  no es entero, el percentil está dado por:  $p_q = x_{(\{\frac{n*q}{100}+1\})}$

Esto es, el dato cuyo orden es el entero inmediatamente superior a.  $\frac{n*q}{100}$ .

Si es entero, el percentil cumple la siguiente condición:  $x_{(\{\frac{n*q}{100}\})} \leq p_q \leq x_{(\{\frac{n*q}{100}+1\})}$

Es decir:  $p_q$  se encuentra entre dos datos de orden consecutivo. El menor es el de orden dado por  $\frac{n*q}{100}$  y el mayor es el dato siguiente en la muestra ordenada.

#### **2.1.15 Eventos Extremos**

Según el Servicio Meteorológico Español (AEMET) un fenómeno meteorológico adverso tiene como característica su “rareza” entendida en términos estadísticos como “menos probable”. Cuanto menor sea esta probabilidad O mayor su período de retorno, es muy probable que menos estén preparadas las poblaciones afectadas para enfrentarse a sus efectos.

De acuerdo con el IPCC2 (Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis) Un fenómeno meteorológico extremo es un evento “raro” en un lugar y momento determinado. Las definiciones de raro varían, pero en general hay consenso de que un fenómeno meteorológico extremo normalmente puede ser más “raro” que el percentil 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada, constituyendo así un índice climático de lluvias extremas.

Bajo estas consideraciones se propone, utilizando estos índices climáticos, un criterio común para establecer una caracterización de lluvias extremas. Cabe agregar que en este análisis, a efecto de tomar en cuenta el comportamiento de la precipitación en la costa peruana hemos tomado el criterio de considerar “lluvia diaria” 8 a las precipitaciones acumuladas en 24 horas mayores a 0.1 mm, ( $RR > 0.1$  mm) para todos los cálculos realizados.



Se sabemos que la precipitación es una variable discreta por eso es conceptualmente errado tratar como si fuera continua, por lo tanto, no se establecen normales. La utilización de estos índices también se justifica porque hay disponible más información de acumulados de precipitación en 24 horas que intensidades de precipitación, lo que facilita la tarea de establecer umbrales.

**Tabla 6** Caracterización de extremos de precipitación

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR>105
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	64<RR<=105
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	46<RR<=64
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	24<RR<=46

Fuente: Elaboración SENAMHI

Es más, una clasificación de "abundancia" que, de intensidad orientada a ayudarnos a tener un criterio común a la hora de clasificar el total acumulado en 24 horas, más que evaluar la intensidad de la precipitación, aunque indirectamente lo hace. El uso del percentil 75 se puede afirmar que valores de precipitación debajo de este umbral deben ser considerados como usuales. (Alfaro L. 2014 Estimación de Umbrales de Precipitación).

## **CAPÍTULO III**

### **VARIABLES E HIPÓTESIS**

#### **3.1 Definición de Variables**

- Validar el modelo GFS de 0,5 grados de resolución para pronóstico cuantificado de precipitación, con los datos de estaciones convencionales usando el Coeficiente de Pearson.
- Instaurar el modelo GFS de 0,5 grados de resolución, para pronóstico cuantificado de precipitaciones.

#### **3.2 Hipótesis General e Hipótesis Específicas**

##### **3.2.1 Hipótesis General**

Si contamos con datos de estaciones meteorológicas convencionales del SENAMHI, podremos validar el modelo GFS de 0,5 grados de resolución para el pronóstico de precipitación cuantificada en la sierra norte y central del Perú entre el 20 de diciembre 2015 y 20 de enero 2016.

##### **3.2.2 Hipótesis Específicas:**

- Si usamos el Coeficiente de Correlación de Pearson, podremos validar el modelo GFS de 0.5 grados de resolución, para el pronóstico de precipitación cuantificada.
- Si instauramos el modelo GFS de 0.5 grados de resolución, mejoraremos el pronóstico de precipitación cuantificada a corto plazo, en la sierra norte y central.

## **CAPÍTULO IV:**

### **METODOLOGÍA**

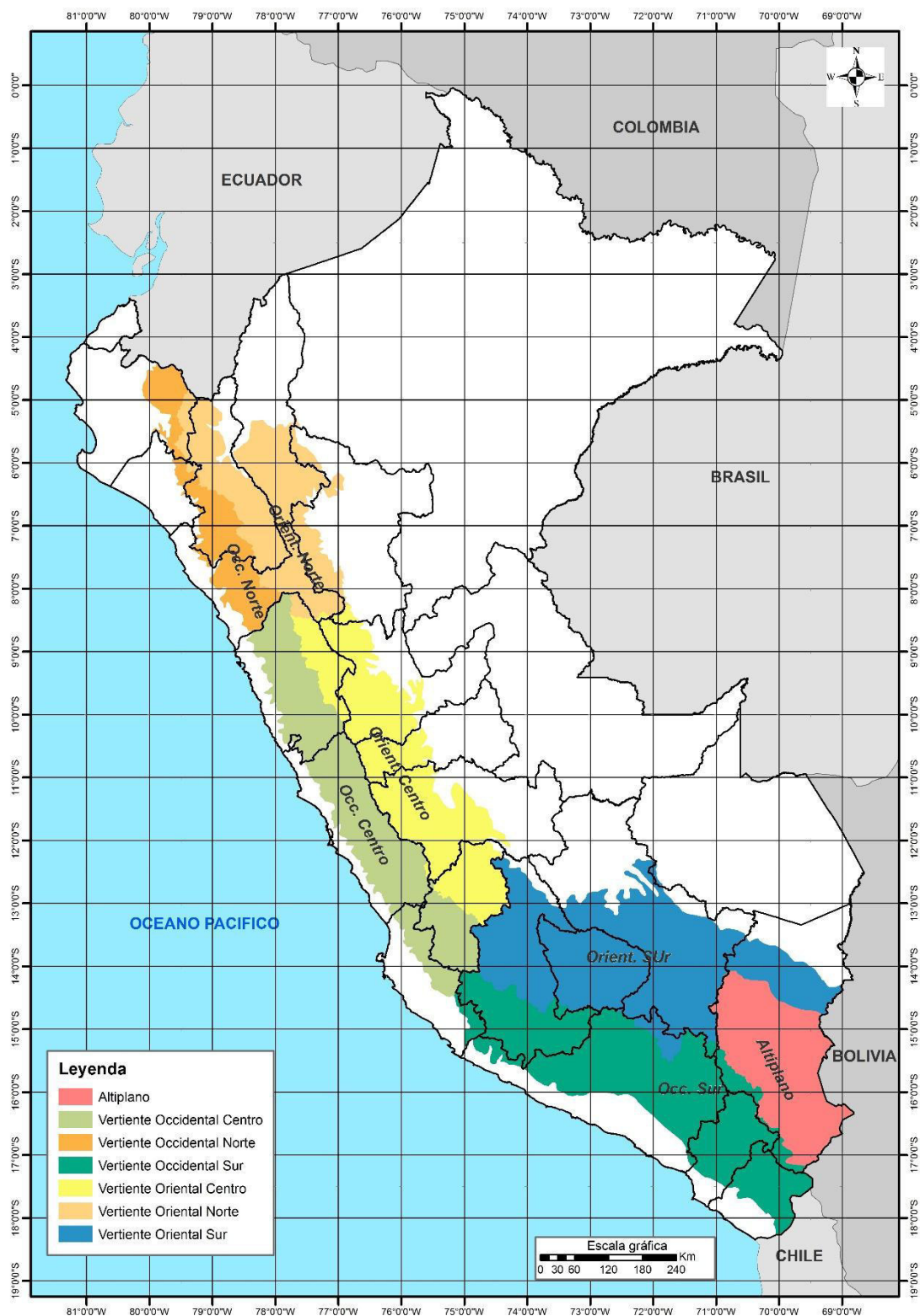
#### **4.1 Materiales y Métodos**

##### **4.1.1 Área de Estudio**

Localización geográfica del área de estudio, el Perú que se encuentra localizado en el hemisferio sur, meridional o austral con relación a la línea ecuatorial. Está en el Continente Americano, en la América del Sur, en su parte central y occidental. Limita por el oeste, el Océano Pacífico, que baña las costas del territorio peruano, limitada además con cinco países sudamericano: Ecuador y Colombia por el norte; Brasil y Bolivia por el este y Chile por el sur.

La variabilidad climática del Perú que se ubica desde la zona ecuatorial hasta los 18°S, adyacente al Océano Pacífico, se ve definido por varios factores siendo los de mayor importancia, la Corriente de Humbolt y la Cordillera de los Andes, que hacen que el Perú tenga una rica variedad de climas y regiones, además de una orografía imponente a la vez que hace tener una variabilidad climática muy apreciada; según Javier Pulgar Vidal se divide en ocho regiones naturales que son: chala o costa, yunga, quechua, suni, puna, janca o cordillera, selva alta y selva baja. En éstas se presentan una diversidad de climas y microclimas que van desde lo costero árido y cálido, pasando por los valles interandinos de tipo templado, frígido y polar hasta los de tipo cálido y lluvioso de la selva.

El presente trabajo se desarrolla en la sierra norte y central del Perú, considerando el grillado del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, se usa la división de pronóstico realizado por la Subdirección de predicción meteorológica (SPM) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENMAHI), como se muestra en la figura 10.

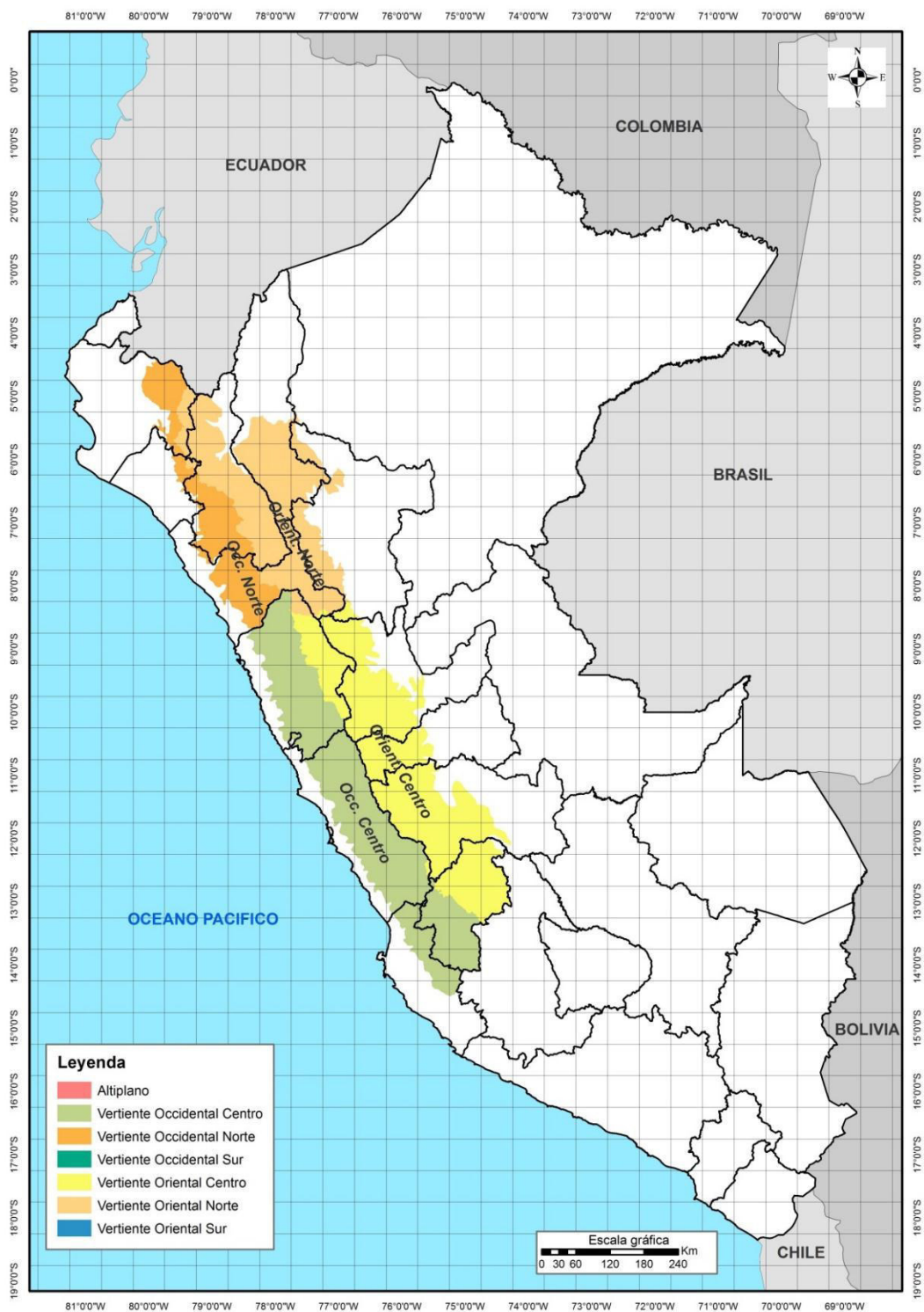


**Figura 10** Muestra el mapa del Perú, con la división de la sierra

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 10 se aprecia la división de la sierra en norte, centro y sur, el área de estudio está en la sierra norte y central en ambas vertientes occidental y oriental. Sierra norte, vertiente occidental que comprende los departamentos de Piura, Lambayeque, La Libertad y sur de Cajamarca, la vertiente oriental que comprende los departamentos de Cajamarca, Sur de Amazonas, La Libertad y zonas altas del departamento de San Martín. Sierra central, en la vertiente occidental que comprende los departamentos de Ancash, Lima, Ica y Huancavelica. Vertiente oriental central que comprende los departamentos de Ancash, Huánuco, Pasco, Junín, y Huancavelica. Sierra sur se encuentra dividida en tres: vertiente oriental, vertiente occidental y el Altiplano, que comprende los departamentos de Ayacucho, Cusco, Apurímac, Puno, Arequipa, Tacna y Moquegua.

En la figura 11, se muestra en forma específica el área de estudio georreferenciado con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial con relación al área geográfica. Se está considerando, el área de estudio de acuerdo al grillado en relación a la sierra norte y central, si la división de vertientes occidental y oriental, donde le corresponden aproximadamente 88 grillas es decir puntos de pronóstico de precipitaciones, se puede observar que existen puntos muy próximos a la línea costera y también próximos a la selva alta.

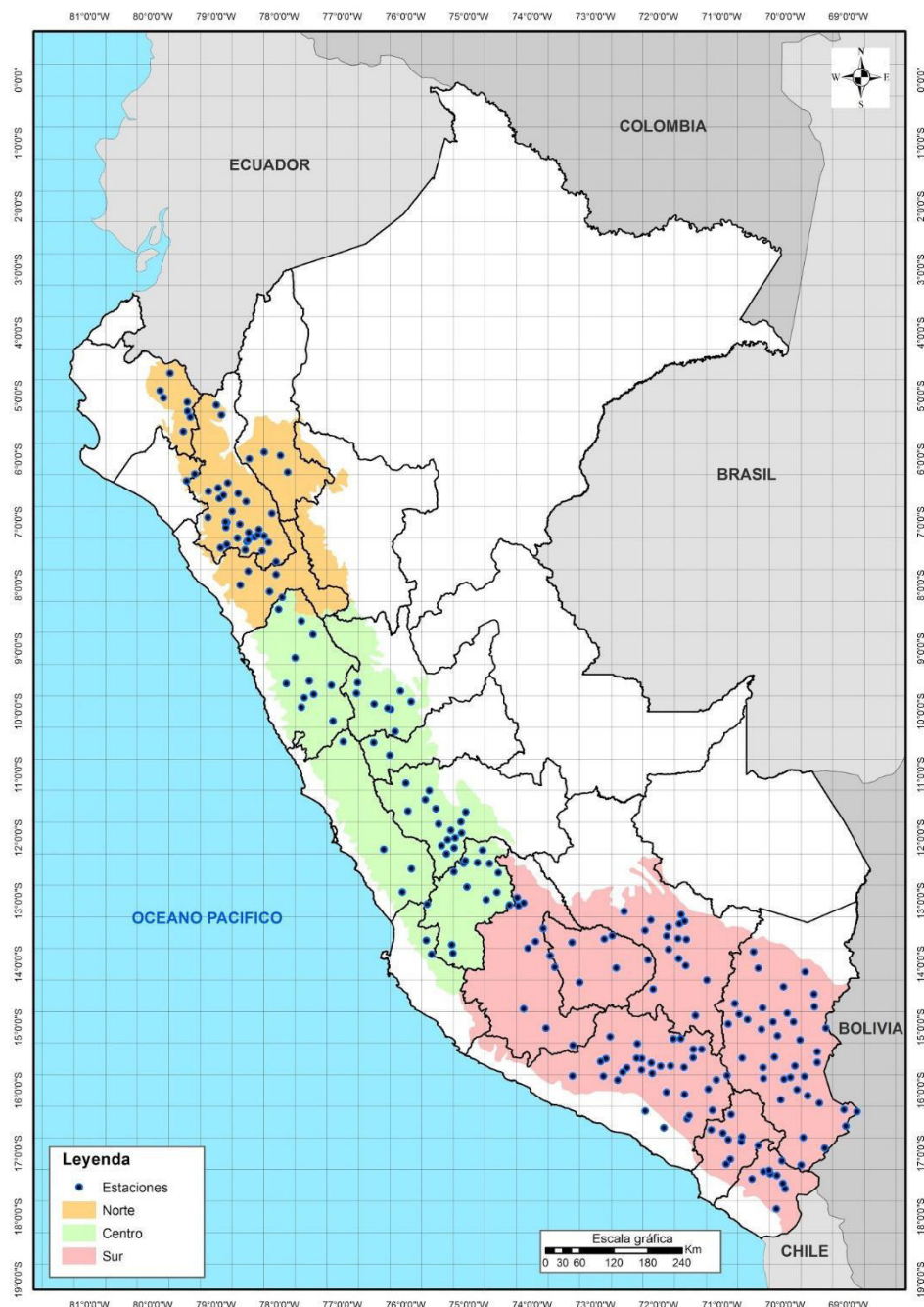


**Figura 11** Muestra el área de estudio.

Fuente: Elaboración Propia

#### **4.1.2 Datos meteorológicos**

Los datos de precipitación, se obtiene del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), de las estaciones convencionales, la información es enviada por los observadores diariamente, con una aplicativo y se le denomina “Información de voz y data”, se escogieron estas estaciones porque son obtenidas por personas que viven cerca de cada estación y tienen experiencia en observaciones meteorológicas, en la sede central toda la información pasa por un control de calidad, no se escogieron estaciones automáticas por tener una menor densidad en la sierra norte y central, y por tener menor confiabilidad. En la figura 12, se muestra las estaciones convencionales en la sierra desde Piura y Cajamarca hasta Tacna y Puno.

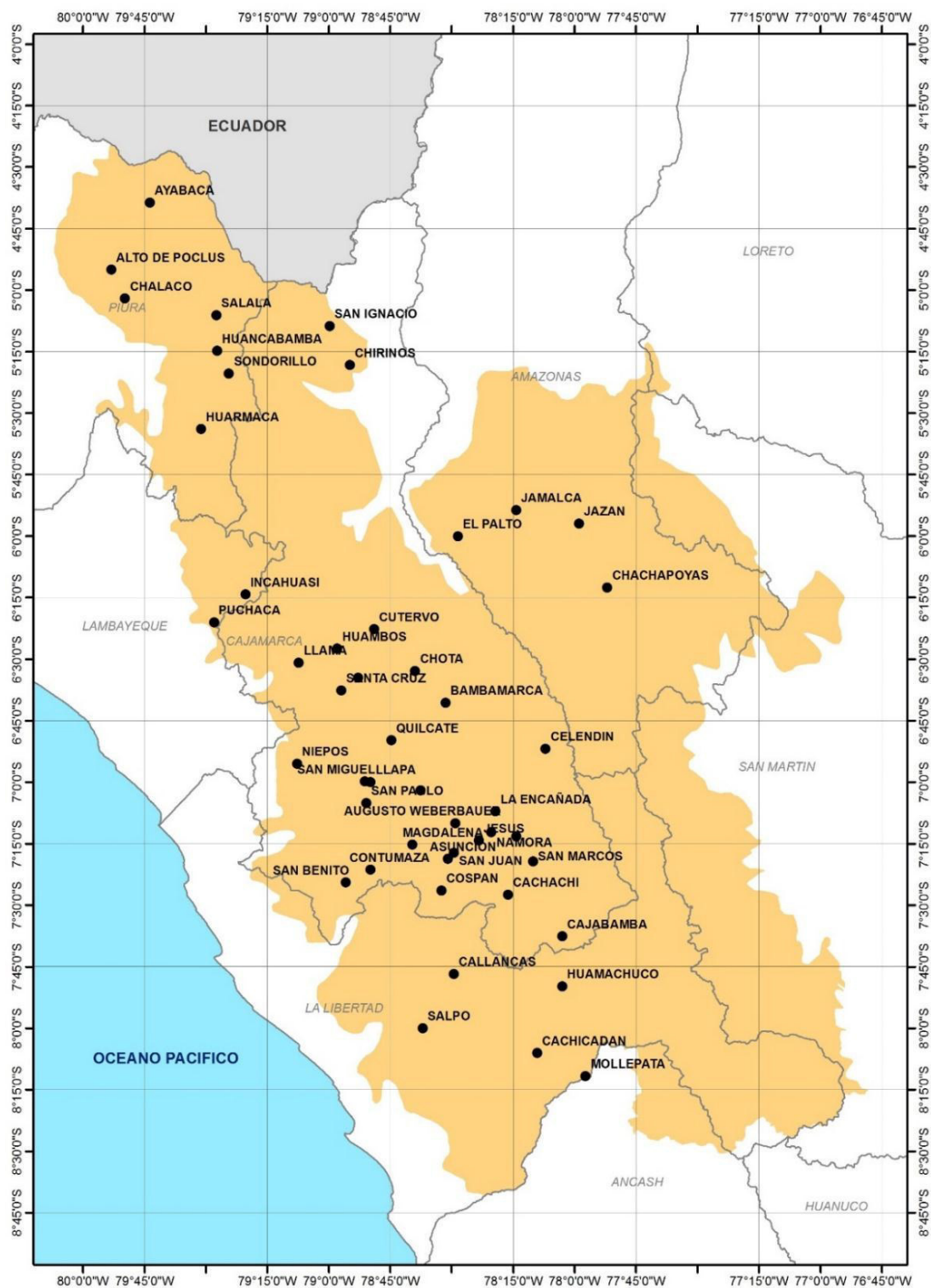


**Figura 12** Muestra la red de estaciones en la sierra del Perú

Fuente: Elaboración Propia

La figura 12, se observa las estaciones convencionales del SENMAHI se muestra la distribución y su ubicación latitudinal. En la figura 13 se muestran las estaciones convencionales del SENAMHI con sus respectivos nombres y su ubicación en la sierra norte referenciado respecto a la grilla del modelo GFS cada 0,5 grados.

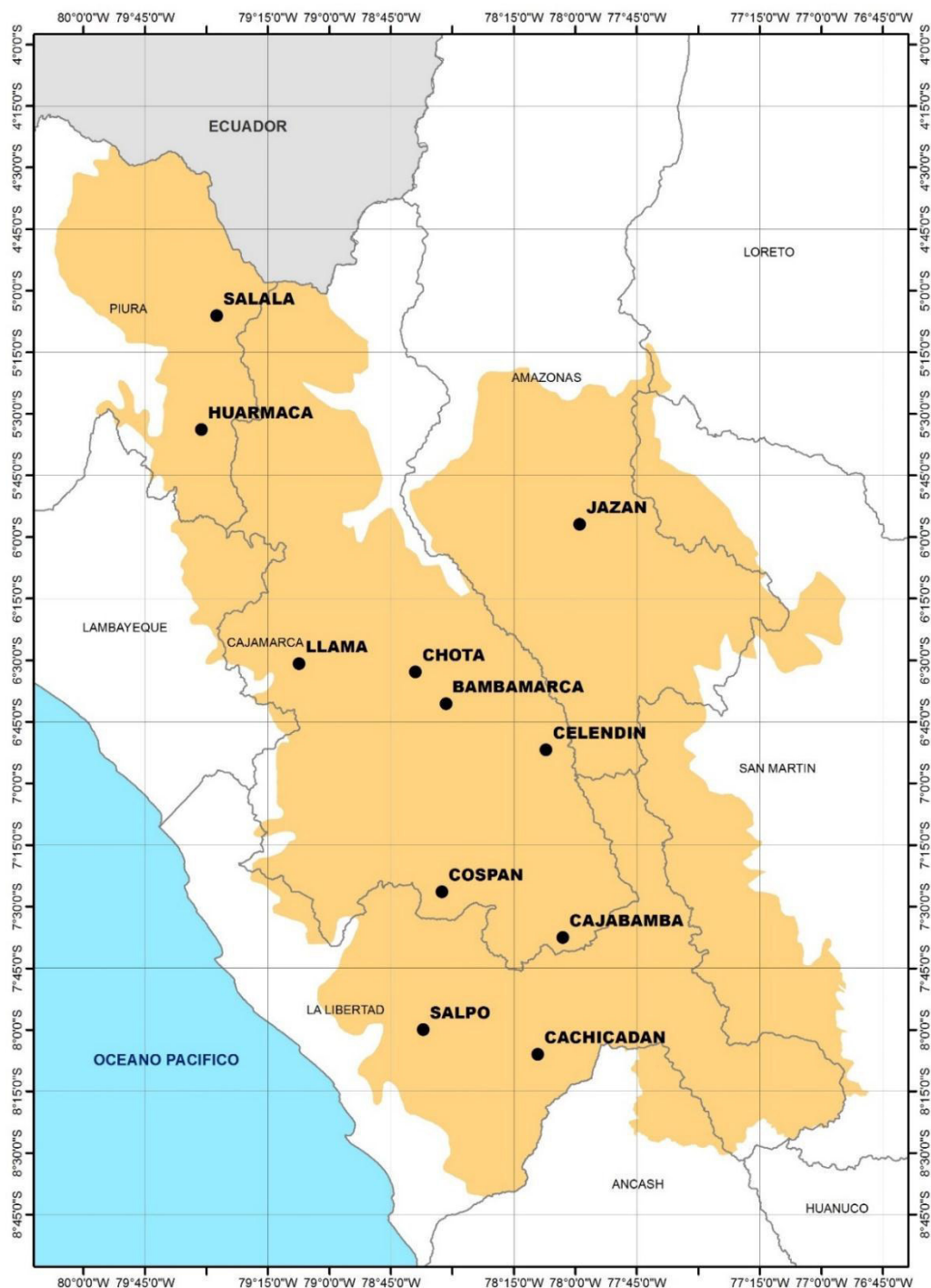




**Figura 13** Muestra estaciones convencionales SENAMHI distribuidas de acuerdo su ubicación en la sierra norte con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 13, se muestra las estaciones de la sierra norte, luego se determinó por su mejor ubicación y de acuerdo a la grilla del modelo GFS de 0,5 grados de resolución. Las estaciones elegidas se muestran en la figura 14.



**Figura 14** Muestra las estaciones convencionales SENAMHI de la sierra norte con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados.

Fuente: Elaboración Propia

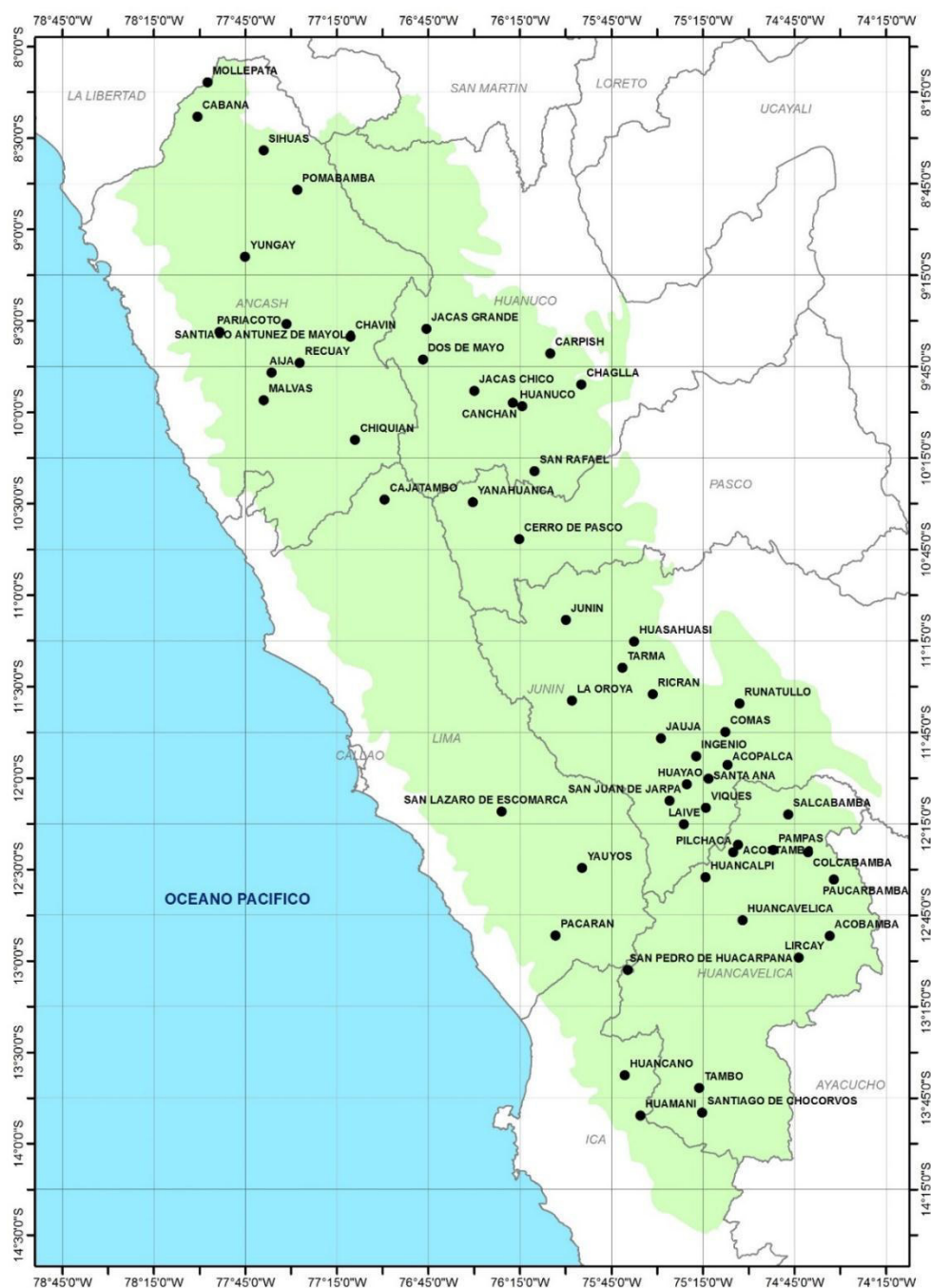
De acuerdo a la figura 14, las estaciones seleccionadas de la sierra norte de donde se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7 Estaciones Sierra Norte**

CODIGO	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
<b>100015</b>	BAMBAMARCA	-6.6775	-78.5253	2577
<b>108045</b>	CACHICADAN	-8.1017	-78.1525	2890
<b>107008</b>	CAJABAMBA	-7.6269	-78.0506	2612
<b>106010</b>	CELENDIN	-6.8642	-78.1183	2470
<b>106034</b>	CHOTA	-6.5475	-78.6489	2426
<b>100037</b>	COSPAN	-7.4406	-78.5422	2105
<b>105064</b>	HUARMACA	-5.5648	-79.5198	2244
<b>105079</b>	JAZAN	-5.9486	-77.9825	1425
<b>106053</b>	LLAMA	-6.5147	-79.1228	2079
<b>105096</b>	SALALA	-5.1017	-79.4575	2800
<b>108001</b>	SALPO	-8.0003	-78.6169	3250

Fuente: Elaboración Propia

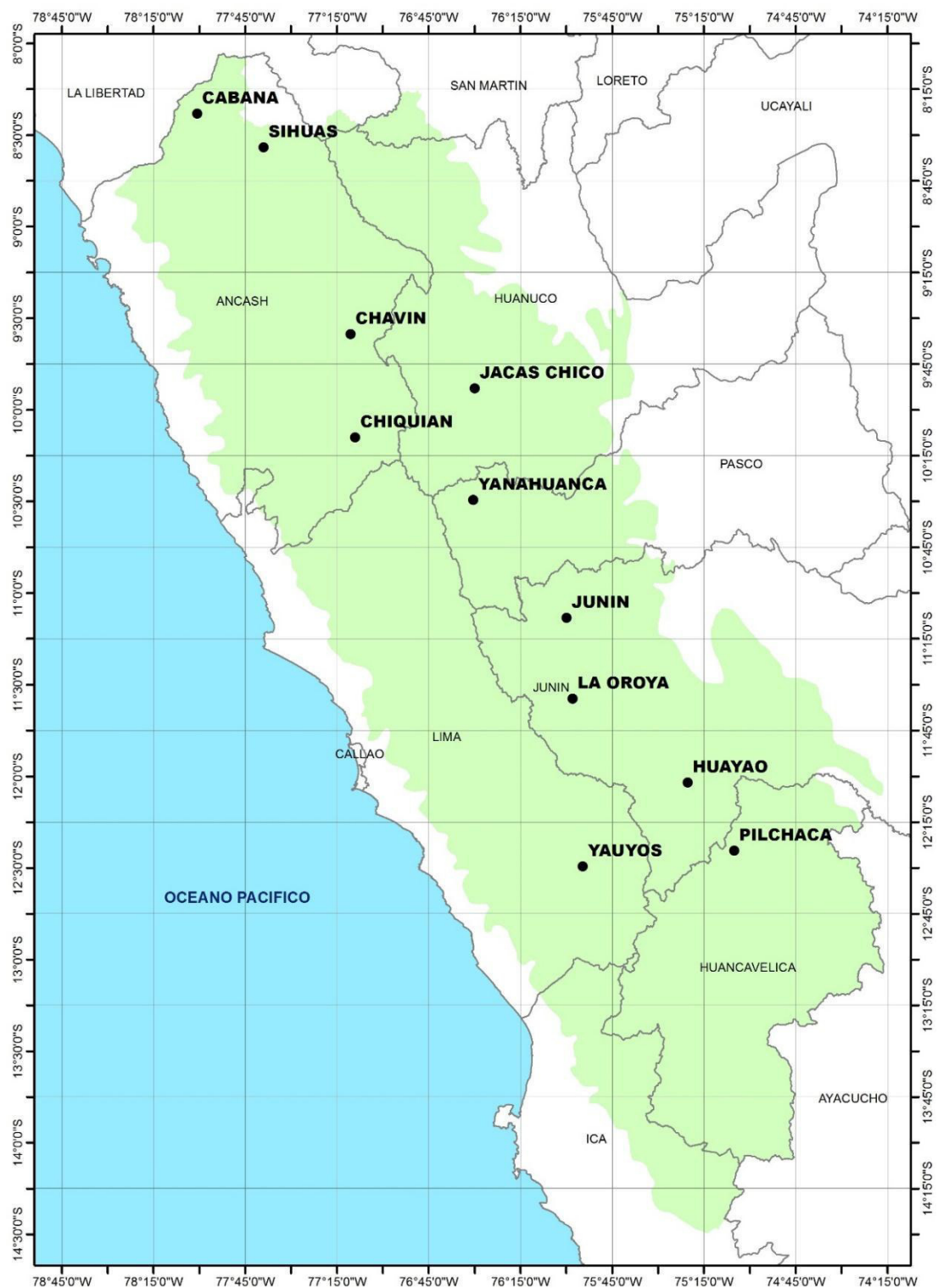
Para la sierra central, figura 15 se muestra las estaciones convencionales de SENAMHI con sus nombres y referenciadas respecto a la grilla del modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial.



**Figura 15** Muestra las estaciones convencionales SENAMHI, distribuidas de acuerdo su ubicación en la sierra central con la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como referencia la figura 15, donde se muestra las estaciones convencionales de la sierra central, se determinó por su mejor ubicación de acuerdo a la grilla del modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial, las estaciones representativas y estas se muestran en la figura 16.



**Figura 16** Muestra las estaciones convencionales SENAMHI de la sierra central, con la grilla del modelo GFS de 0,5 grados.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 16 se observa las estaciones seleccionadas que corresponden a cada grilla del modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial y se detallan cada una en la tabla 8.

**Tabla 8 Estaciones Sierra Central**

CODIGO	ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
<b>110018</b>	CHIQUIAN	-10.1503	-77.1503	3382
<b>112057</b>	YAUYOS	-12.4921	-75.9106	2294
<b>108047</b>	SIHUAS	-8.5669	-77.6503	3375
<b>109019</b>	CHAVIN	-9.5863	-77.1755	3137
<b>109022</b>	JACAS CHICO	-9.8836	-76.5003	3673
<b>110007</b>	YANAHUANCA	-10.4914	-76.5081	3190
<b>111046</b>	LA OROYA	-11.5761	-75.9656	4007
<b>112056</b>	HUAYAO	-12.0336	-75.3389	3360
<b>112060</b>	PILCHACA	-12.4064	-75.0847	3650

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 8 muestra las estaciones convencionales de SENAMHI, seleccionadas para la sierra central, con sus códigos de estación, su ubicación espacial por latitud y longitud además de su altura, se observa que casi todas las estaciones se encuentran por encima de los 3000 msnm, a excepción de la estación Yauyos que se encuentra a 2294 msnm.

#### **4.1.3 Datos del modelo**

Los datos el modelo Global Forecast System (GFS) de 0,5 grados de resolución espacial son del The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), que son de libre acceso y tiene información cada 6 horas en la horas 00z, 06z, 12z y 18z; para pronóstico cada tres horas hasta 10 días, la salida que se uso fue de 0,5 grados de resolución de grilla, se usaron estos por tener mayor precisión y ser menor tamaño para facilitar la descarga, se encuentran en formato grib2, se usa para visualizar estos datos el programa Grid Analysis and Display System (GrADS), en la versión 2.0, que puede leer los formato grib2. Los datos que se obtuvieron son salidas en formato grib2 de hasta 10 días de pronóstico desde el día 19 de diciembre

de 2015 hasta el 10 de enero de 2016, cada tres horas, que se extrajeron con un programa que descarga los datos de cada grilla de precipitación, es decir cada grilla tiene un valor de precipitación, de esta manera se obtiene los datos cuantificados. Así mismo se usaron los datos de análisis del modelo Global Forecast System (GFS) de 1 grado de resolución espacial, de The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y datos de National Center for Environmental Prediction (NCEP), para el análisis sinóptico.

#### **4.1.4 Datos de Imágenes de Satélite**

Se han usado imágenes de satélites del Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) 13 de los canales infrarrojo y vapor de agua, del SENAMHI, que tiene un sistema de recepción y almacena los datos en formato binarios, se usaron los datos del canal infrarrojo para obtener las imágenes de promedio diario, para poder tener una mejor perspectiva de todos los sistemas convectivos que se formaron durante el día y así poder ver los posibles eventos de lluvias en la sierra norte y central.



## **CAPÍTULO V:**

### **RESULTADOS**

#### **5.1 Análisis de datos de estaciones con el Modelo GFS.**

Para el presente trabajo se realizó la gráfica del grillado del modelo numérico GFS de 0.5 grados de resolución sobre el mapa del Perú y se integró el mapa de pronóstico que se usa en forma operativa en el SENAMHI, donde está la división de sierra norte y central.

En la figura 14 y 16, se muestra la distribución espacial de las estaciones convencionales del SENAMHI, en la sierra norte y central, de estas estaciones se utilizaron sólo algunas las que cumplen las siguientes características:

- ✓ Deben estar dentro de un cuadro de grilla, las que son fronterizas o próximas a las fronteras se descartaron.
- ✓ De las estaciones convencionales que quedaron dentro de la grilla se escogió la más representativa respecto al centro de la grilla, es decir la más próxima a la intersección de las diagonales de cada grilla.
- ✓ Estaciones que se encuentran próximas a la costa es decir de menor elevación sobre el nivel del mar.

Análisis cuantitativo de precipitaciones acumuladas cada 24 horas con la estación de referencia con el modelo GFS de 0.5° de resolución. Para el presente comparativo se obtuvo el acumulado de precipitación del modelo GFS de las horas 15z, 18z, 21z, 00z, 03z, 06z, 09z y 12z, para obtener el acumulado de precipitaciones diarias estimada por el modelo para cada grilla en relación a su estación conveccional que se envían los datos vía telefonía celular diariamente y tenemos también un acumulado de 24 horas.

Se muestra en las figuras el comportamiento del Coeficiente de Pearson respecto a los datos observados y pronosticados para ver la correlación que muestra, se ha considerado tener un valor de Coeficiente mayor a 0,7, por representativo, para la muestra de pocos datos, sin embargo, siendo la muestra pequeña no necesariamente puede ser un valor representativo, se podría considerar un valor menor como 0,6.



### 5.1.1 Bambamarca

La estación Bambamarca, está a una altura de 2577 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Hualgayoc, distrito de Bambamarca, en la sierra norte, vertiente oriental, como se muestra en la figura 17, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 81 mm/mes y 72 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Bambamarca, en la tabla 9.

**Tabla 9** Umbrales de precipitación de la Estación Bambamarca.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 25.8
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	16.5 < RR <= 25.8
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	12.5 < RR <= 16.5
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.6 < RR <= 12.5

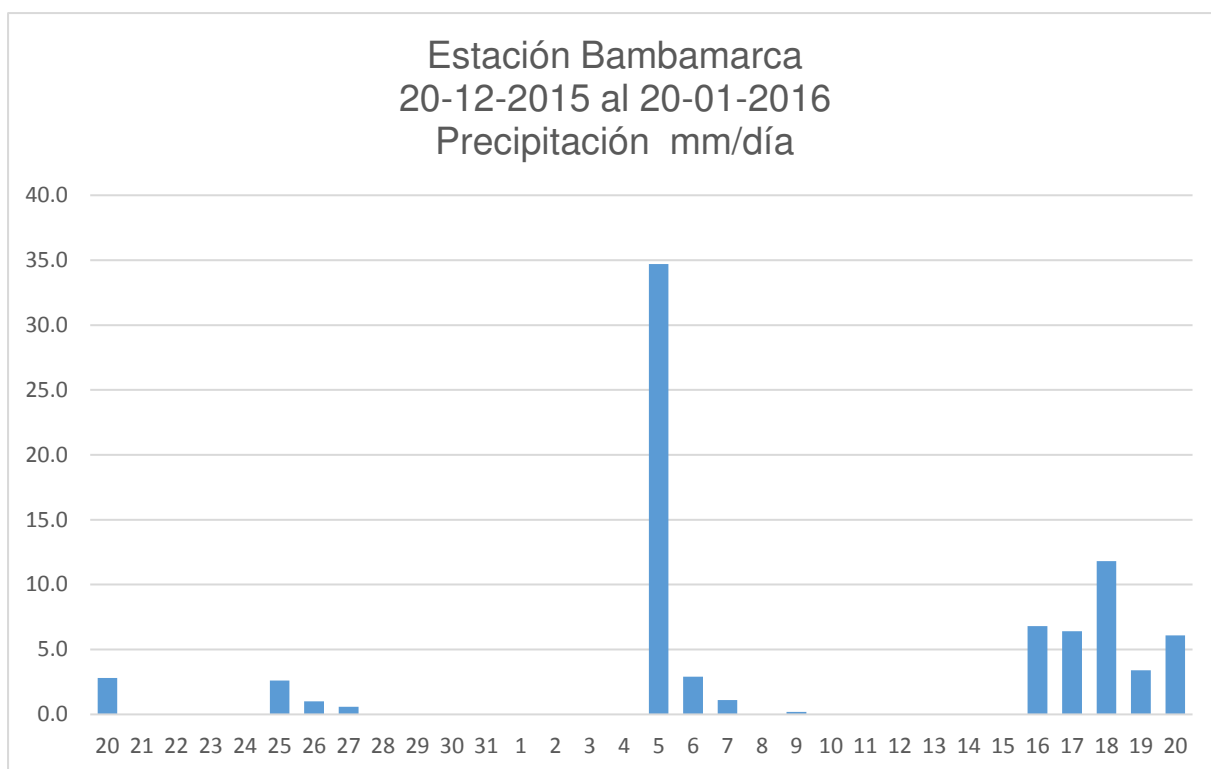
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Bambamarca que se muestra en la figura 18, se han registrado 13 días de precipitación y se han registrado tres (3) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (16 y 18 de enero 2016) y extremadamente lluvioso (5 de enero 2016),



**Figura 17** Muestra la estación convencional Bambamarca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 18** Muestra la precipitación diaria de la estación Bambamarca.

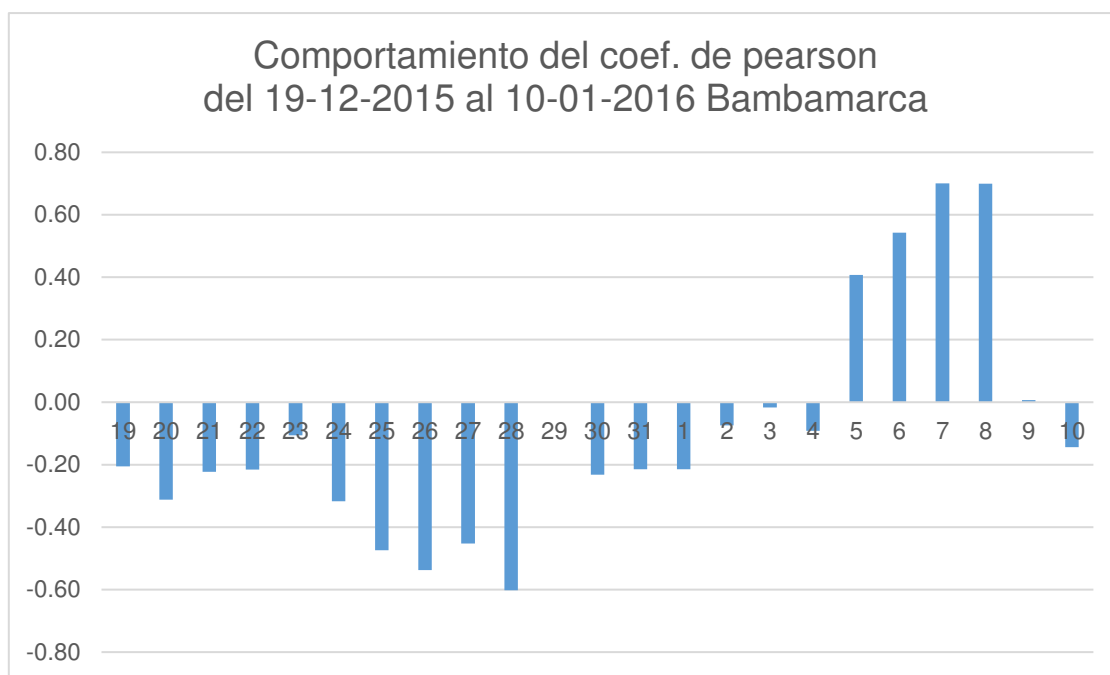
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Bambamarca, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 10, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 20.14 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 10** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Bambamarca

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 19** Coeficiente de Pearson de la Estación Bambamarca

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Bambamarca usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 19, de los 23 días de pronóstico se observa que cinco (05) días muestra buena correlación desde 05 al 08 de enero 2018

### 5.1.2 Cachicadan

La estación Cachicadan, está a una altura de 2890 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de La Libertad, provincia de Santiago de Chuco, distrito de Cachicadan, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 20, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 101 mm/mes y 140 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Cachicadan, en la tabla 11.

**Tabla 11** Umbrales de precipitación de la Estación Cachicadan.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 30.0
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	20.0 < RR <= 30.0
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	15.8 < RR <= 20.0
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	10.0 < RR <= 15.8

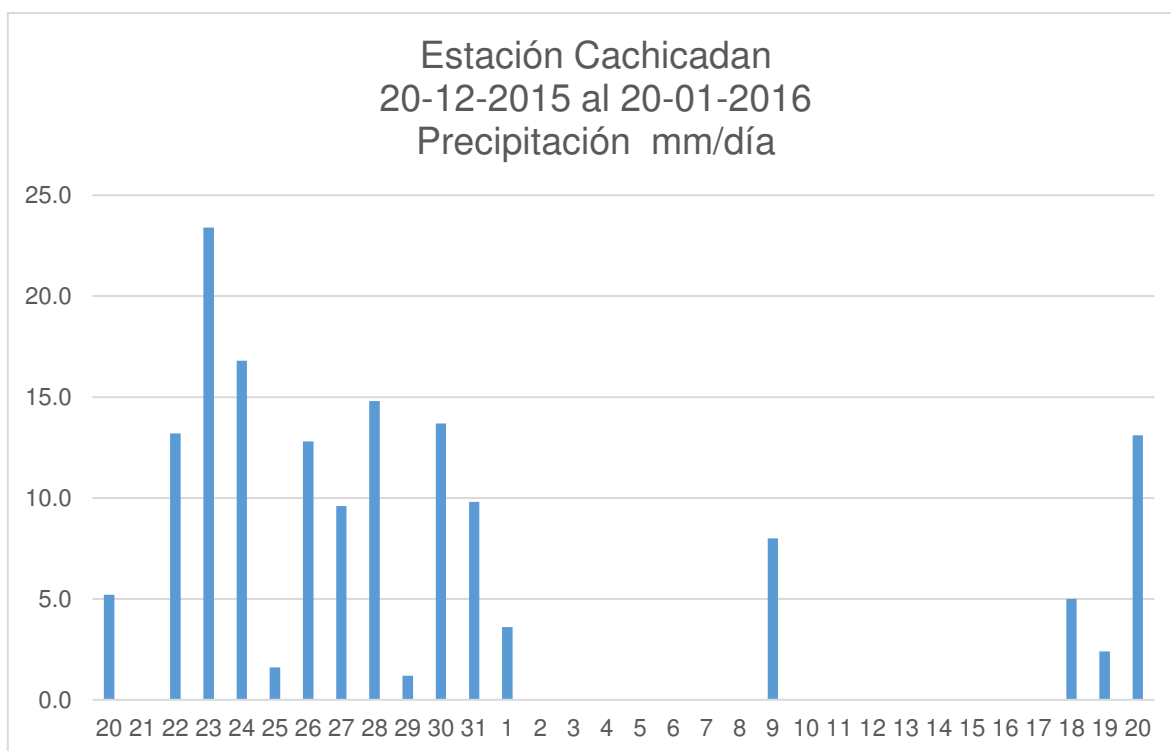
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Cachicadan que se muestra en la figura 21, se han registrado 16 días de precipitación y se han registrado seis (6) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (26,28 y 30 de diciembre 2015 y 20 de enero 2016), lluvioso (24 de diciembre 2015) y muy lluvioso (23 de diciembre 2015),



**Figura 20** Muestra la estación convencional Cachicadan en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 21** Muestra la precipitación diaria de la estación Cachicadan

Fuente: Elaboración Propia

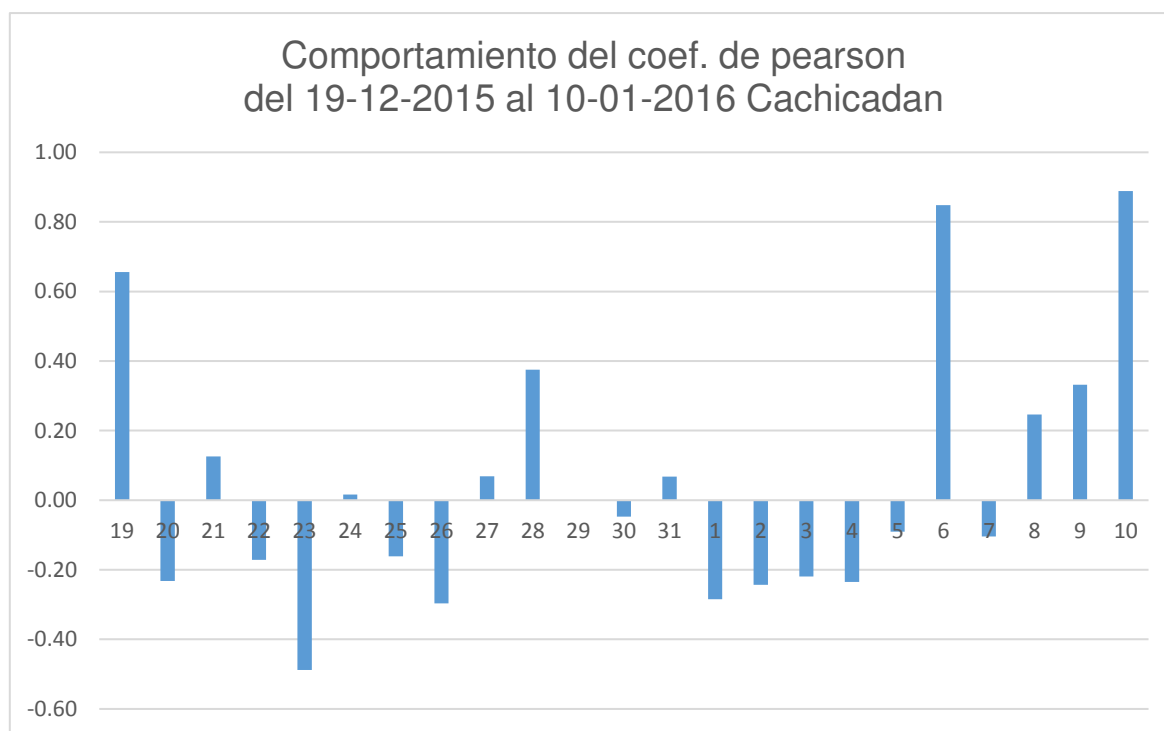
Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Cachicadan, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 12, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 41.28 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.



**Tabla 12** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Cachicadan

CODIGO	108045	CACHICADAN																																
ESTACION	CACHICADAN																																	
LAT_SIG	-8.1017																																	
LONG_SIG	-78.1525																																	
		Diciembre de 2015																Enero de 2016																
ALT	2890	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10										
20	5.2	6.91																																
21	0.0	3.1	2																															
22	13.2	6.39	3.14	2.83																														
23	23.4	25.51	2.14	6.33	3.87																													
24	16.8	4.2	5.62	4.73	6.39	4.33																												
25	1.6	7.1	8.9	3.89	2.53	3.37	6.04																											
26	12.8	3.34	11.06	2.26	2.4	2.72	2.96	1.09																										
27	9.6	7.08	3.68	2.47	3.82	3.25	2.66	4.05	1.9																									
28	14.8	7.01	11.34	5.89	4.35	3.52	3.19	2.87	2.6	2																								
29	1.2	0.6	13	1.84	7.73	3.72	3.35	4.2	2.4	2.8	2.01																							
30	13.7		8.57	7.35	4.82	6.47	10.11	17.1	4.1	10.2	2.1	2.46																						
31	9.8			19.1	41.28	13.6	7.8	11.3	7.14	2.3	2.4	2.4	1.3																					
1	3.6				16.25	19.1	19.86	15.4	29.1	3.2	3.2	4.3	4.32	2.7																				
2	0.0					23.3	2.88	29.3	27.6	15.2	2.81	3.81	1.98	1.8	2.5																			
3	0.0						1.65	2.73	1.19	2.6	0.6	0.67	0.4	0.2	0	0																		
4	0.0							1.13	1.72	1.01	1.6		0.6	0	0	0																		
5									0.2	0.5	0.1		0.1	0.2	0.9	1.1	0.9	0.8																
6	0.0										1		1.3	0.79	5.9	2.07	3.15	7.74	4.5															
7	0.0												3.19	0.7	3.51	4.15	4.8	2.6	2.2	1.86														
8	0.0														5	0.3	1.6	1.8	3.8	3.72	1.4	1.5	0.8											
9	8.0															0.01	0	0	0.2	0.1	0.5	3.9	1	2.76										
10	0.0														0	0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.4	3.28	4.75										
11	0.0														0.62	0.11	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1	4.4										
12	0.0																0.24	0.01	0	0	0	0	0.1	0.2	3.7									
13	0.0																		0	0.1	0	0	0	0.2	1.1									
14	0.0																		1.2	0	0	0	0	0	0.2									
15	0.0																																	
16	0.0																																	
17	0.0																																	
18	5.0																																	
19	2.4																																	
20	13.1																																	

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 22** Coeficiente de Pearson de la Estación Cachicadan

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Cachicadan usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 22, de los 23 días de pronóstico se observa que tres (03) días muestra buena correlación que son el 19 de diciembre 2015, el 06 y 10 de enero 2016.

### 5.1.3 Cajabamba

La estación Cajabamba, está a una altura de 2612 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajabamba, distrito de Cajabamba, en la sierra norte, vertiente oriental, como se muestra en la figura 23, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 128 mm/mes y 129 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Cajabamba en la tabla 13.

**Tabla 13** Umbrales de precipitación de la Estación Cajabamba.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 32.6
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	21.8 < RR <= 32.6
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	16.7 < RR <= 21.8
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	10.0 < RR <= 16.7

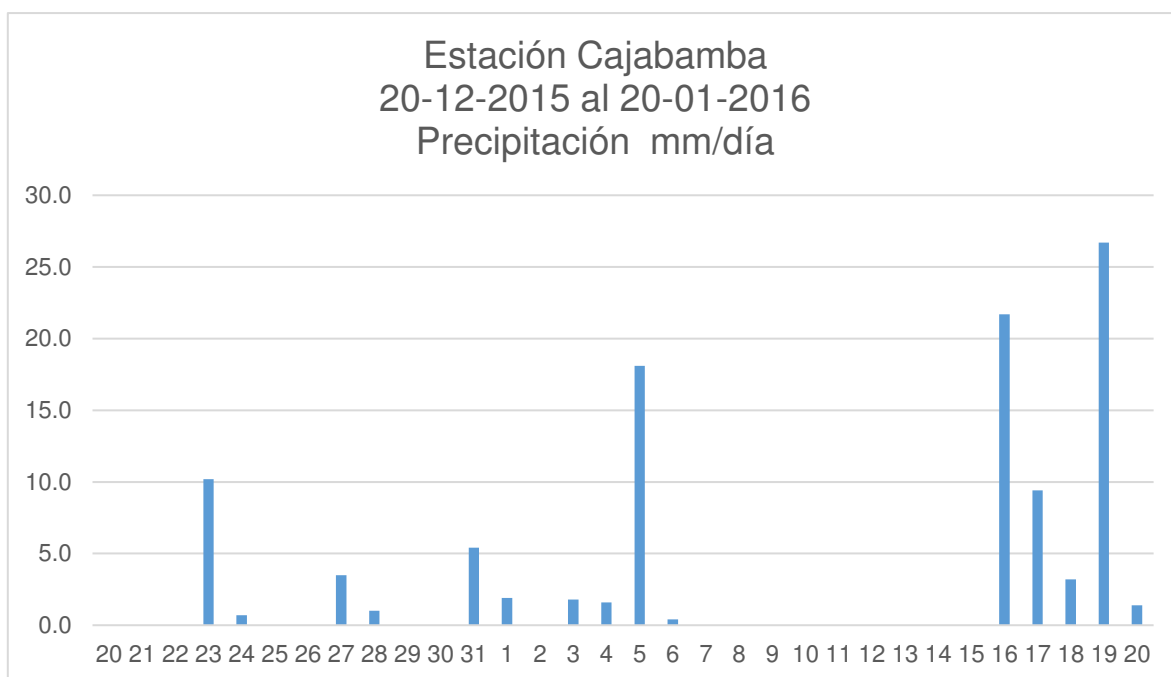
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Cajabamba que se muestra en la figura 24, se han registrado 15 días de precipitación y se han registrado cinco (5) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (23 de diciembre 2015 y 17 de enero 2016), lluvioso (5 y 16 de enero 2016) y muy lluvioso (19 de enero 2016),



**Figura 23** Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia

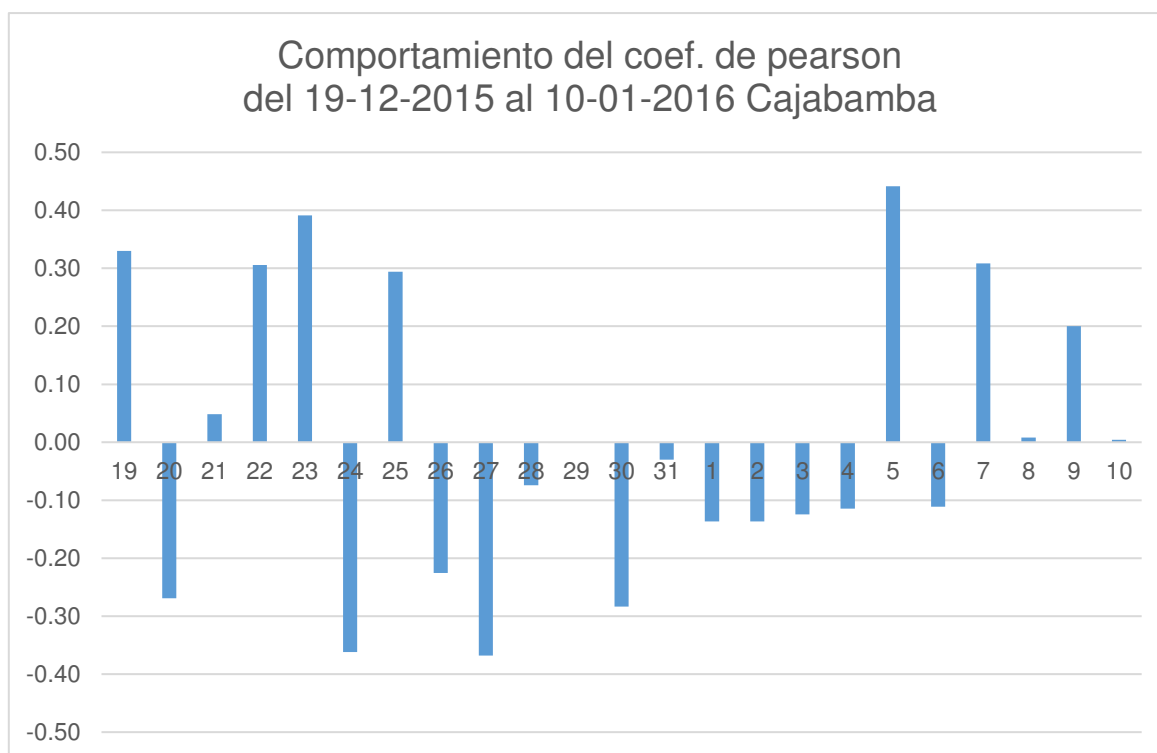


**Figura 24** Muestra la precipitación diaria de la estación Cajabamba.

Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Cajabamba, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 14, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 34.85 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.





**Figura 25** Coeficiente de Pearson de la Estación Cajabamba

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Cajabamba usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 25, de los 23 días de pronóstico no se observa buena correlación.

#### 5.1.4 Celendín

La estación Celendín, está a una altura de 2470 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Celendín, distrito de Celendín, en la sierra norte, vertiente oriental, como se muestra en la figura 26, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 111 mm/mes y 89 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Celendín en la tabla 15.



**Tabla 15** Umbrales de precipitación de la Estación Celendín.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 43.2
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	26.5 < RR <= 43.2
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	20.2 < RR <= 26.5
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	11.5 < RR <= 20.2

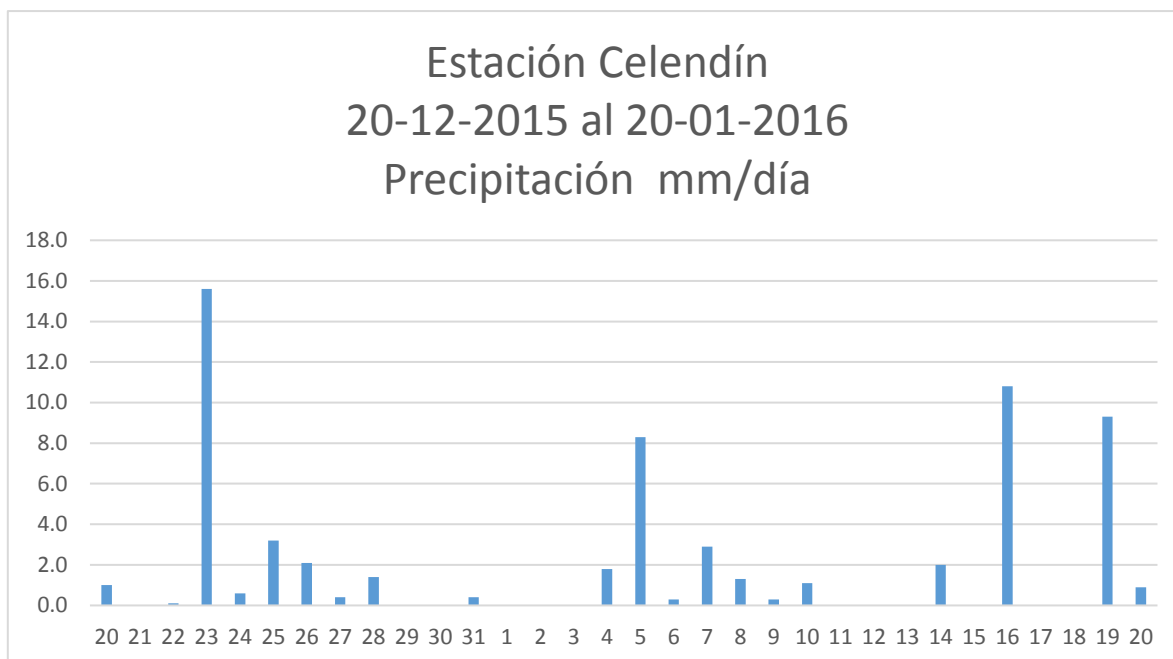
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Celendín que se muestra en la figura 27, se han registrado 20 días de precipitación y se han registrado un día con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (23 de diciembre 2015),



**Figura 26** Muestra la estación convencional Celendín en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



***Figura 27 Muestra la precipitación diaria de la estación Celendín.***

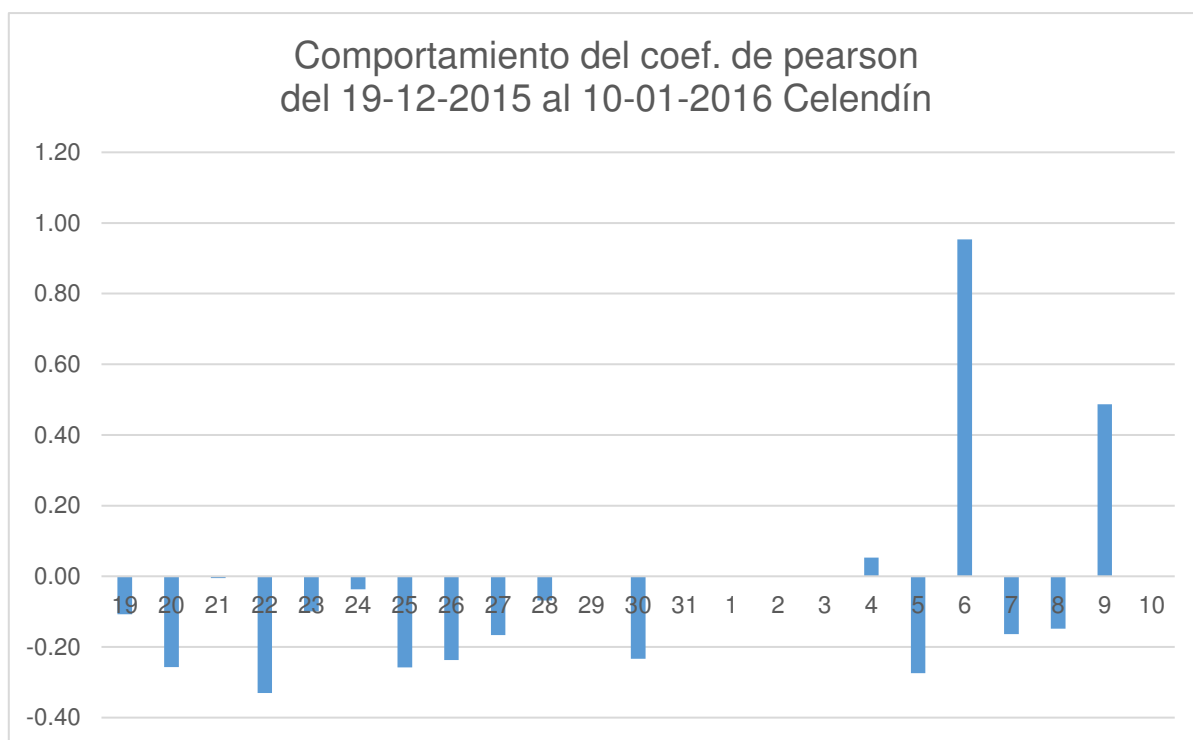
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Celendín, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 16, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 12.95 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

Tabla 16 Datos pronosticados de precipitación en la Estación Celendín.

CODIGO	106010																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 28** Coeficiente de Pearson de la Estación Celendín.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Celendín usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 28, de los 23 días de pronóstico se observa un solo día de buena correlación que es el 06 de enero 2016.

### 5.1.5 Chota

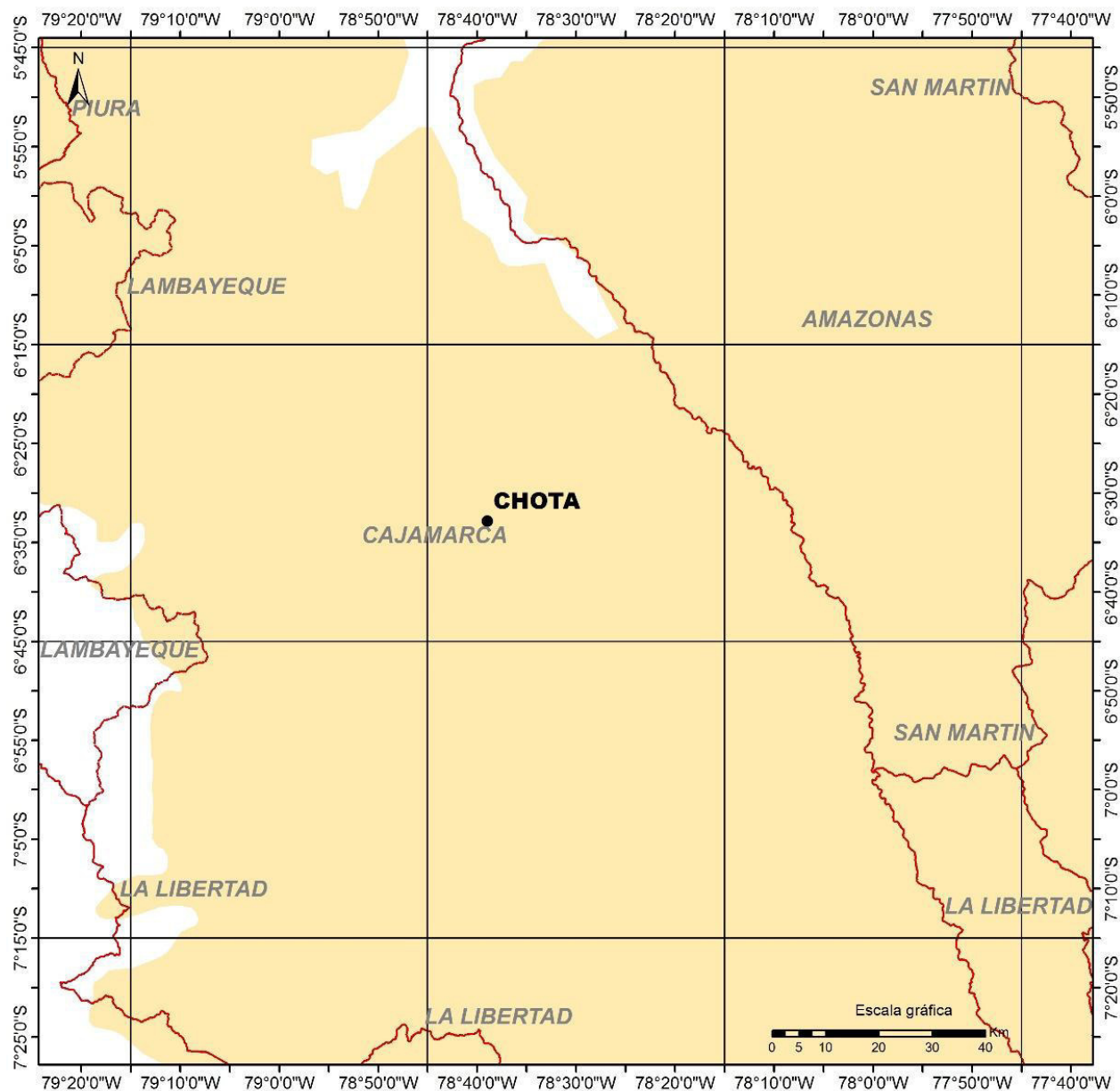
La estación Chota, está a una altura de 2426 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota, distrito de Chota, en la sierra norte, vertiente oriental, como se muestra en la figura 29, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 94 mm/mes y 71 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Chota en la tabla 17.

**Tabla 17** Umbrales de precipitación de la Estación Chota.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 36.6
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	23.4 < RR <= 36.6
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	17.4 < RR <= 23.4
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	9.6 < RR <= 17.4

Fuente: Elaboración Propia

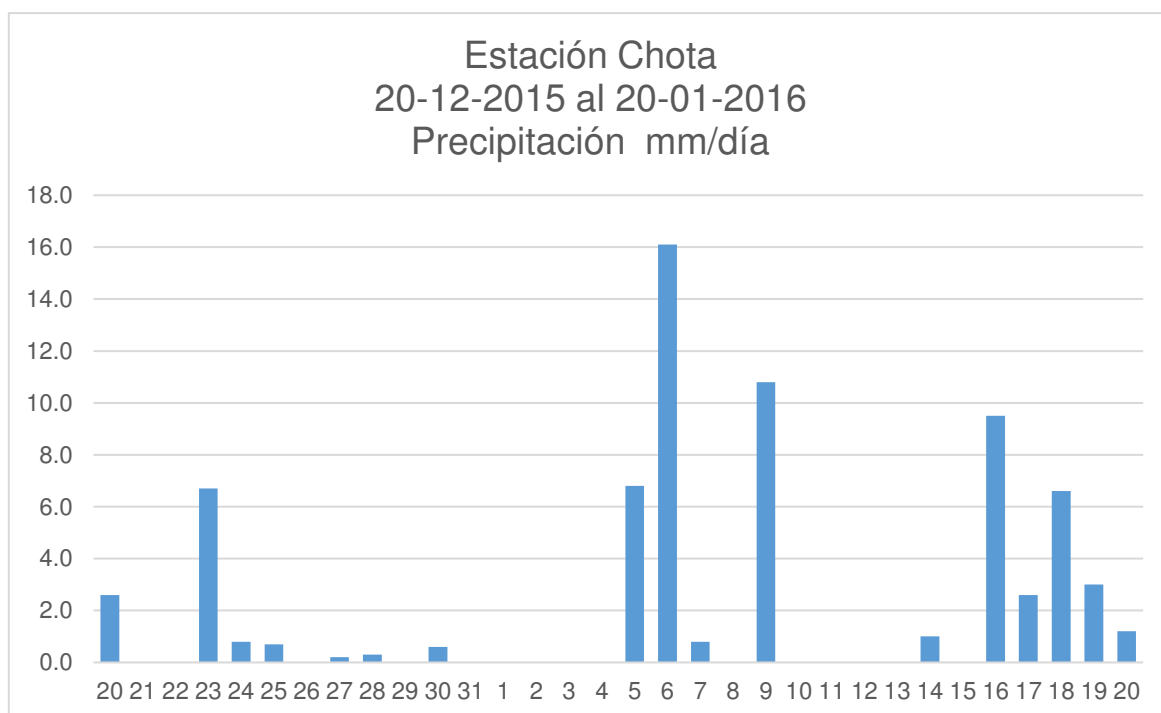
En el periodo de análisis de la estación Celendín que se muestra en la figura 30, se han registrado 17 días de precipitación y se han registrado dos (2) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (6 y 9 de enero 2016),



**Figura 29** Muestra las estación convencional Chota en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia





**Figura 30** Muestra la precipitación diaria de la estación Chota

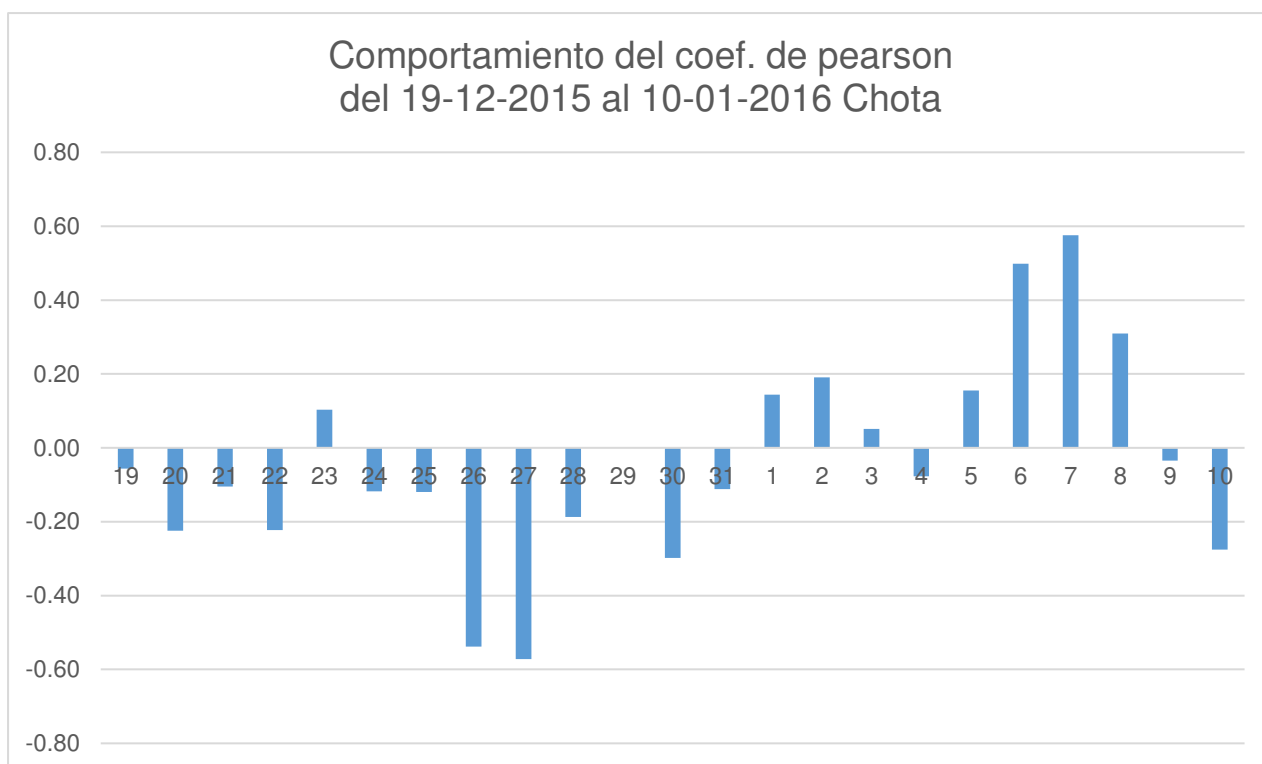
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Chota, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 18, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 20.84 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 18** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chota.

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 31** Coeficiente de Pearson de la Estación Chota.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Chota usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 31, de los 23 días de pronóstico no se observa buena correlación.

### 5.1.6 Cospan

La estación Cospan, está a una altura de 2105 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Cospan, distrito de Cospan, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 32, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 85 mm/mes y 158 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Cospan en la tabla 19.

**Tabla 19** *Umbrales de precipitación de la Estación Cospan.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 43.2
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	25.7 < RR <= 43.2
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	19.7 < RR <= 25.7
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	11.5 < RR <= 19.7

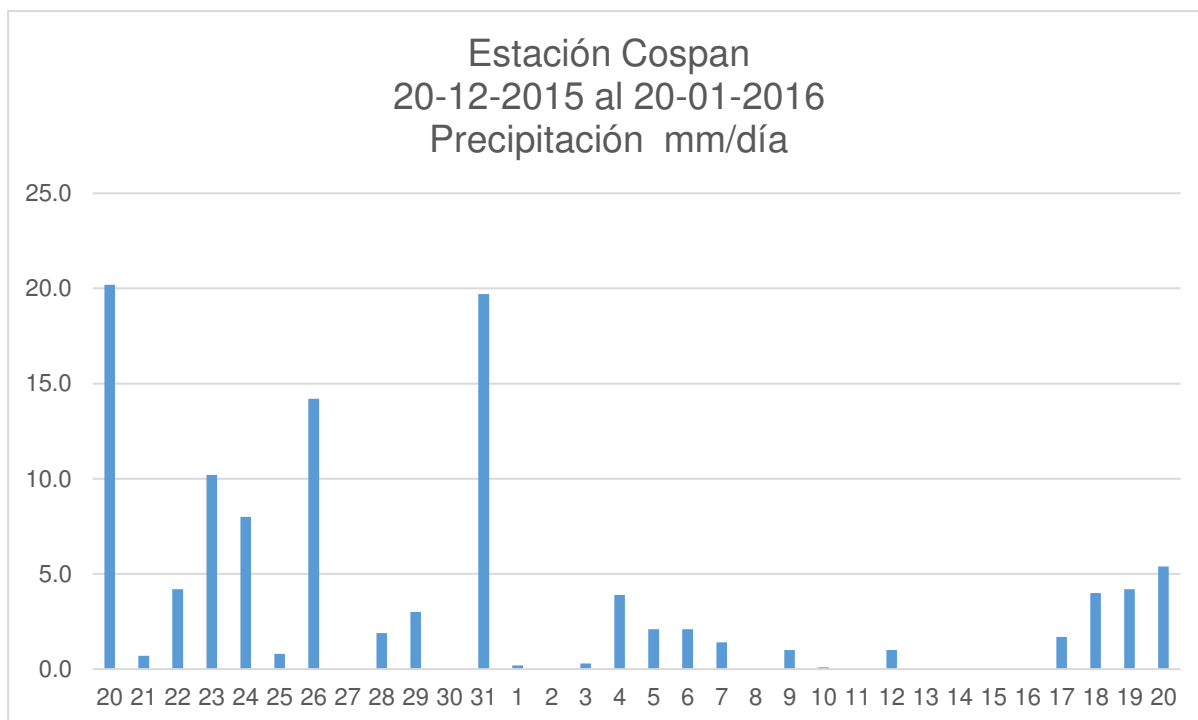
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Cospan que se muestra en la figura 33, se han registrado 23 días de precipitación y se han registrado tres (3) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (26 y 31 de diciembre 2015), lluvioso (20 de diciembre 2015),



**Figura 32** Muestra la estación convencional Cospán en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 33** Muestra la precipitación diaria de la estación Cospan.

Fuente: Elaboración Propia

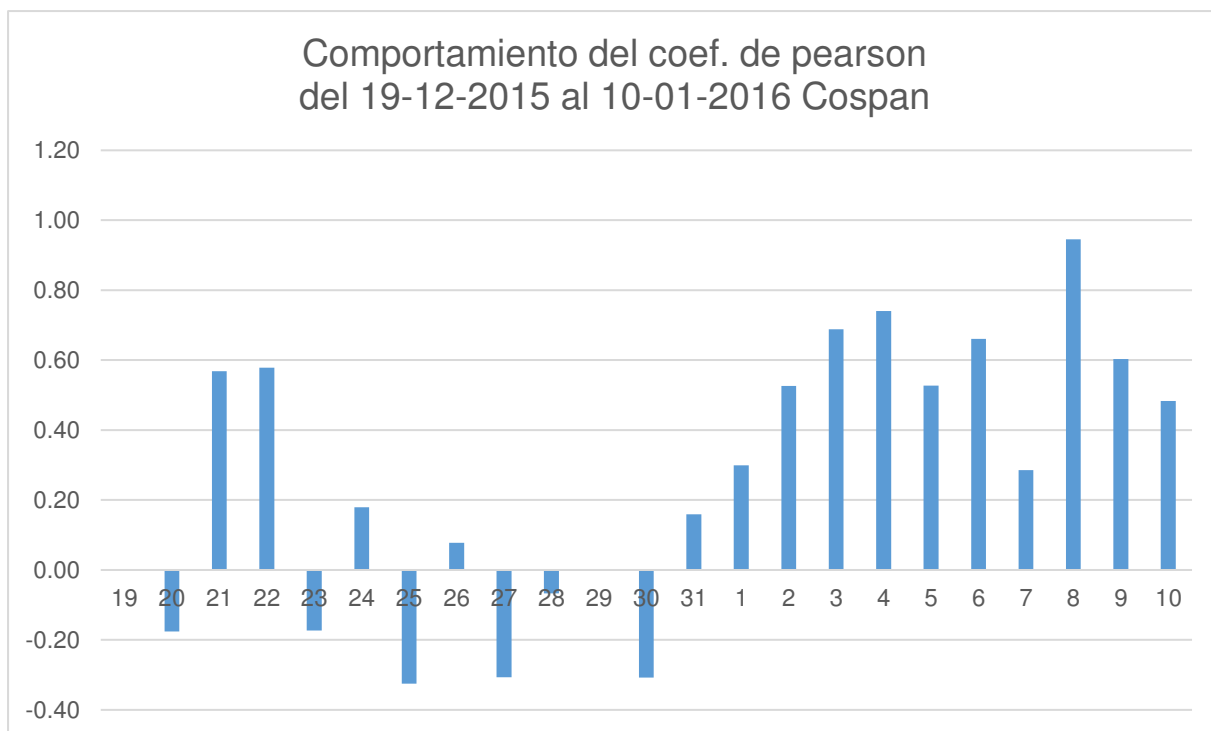
Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Cospan, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 20, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 18.6 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 20** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Cospan

CODIGO		100037	
ESTACION		COSPAN	
LAT_SIG		-7.4406	
LONG_SIG		-78.5422	
ALT		2105	
20		20.2	
21		0.7	
22		4.2	
23		10.2	
24		8.0	
25		0.8	
26		14.2	
27		0.0	
28		1.9	
29		3.0	
30		0.0	
31		19.7	
1		0.2	
2		0.0	
3		0.3	
4		3.9	
5		2.1	
6		2.1	
7		1.4	
8		0.0	
9		1.0	
10		0.1	
11		0.0	
12		1.0	
13		0.0	
14		0.0	
15		0.0	
16		0.0	
17		1.7	
18		4.0	
19		4.2	
20		5.4	

Fuente: Elaboración Propia





**Figura 34** Coeficiente de Pearson de la Estación Cospan

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Cospan usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 34, de los 23 días de pronóstico se observa que tres (03) días muestra buena correlación los días 03, 04 y 08 de enero 2016, siendo este últimos con un valor mayor a 0,7 de correlación.

### 5.1.7 Huarmaca

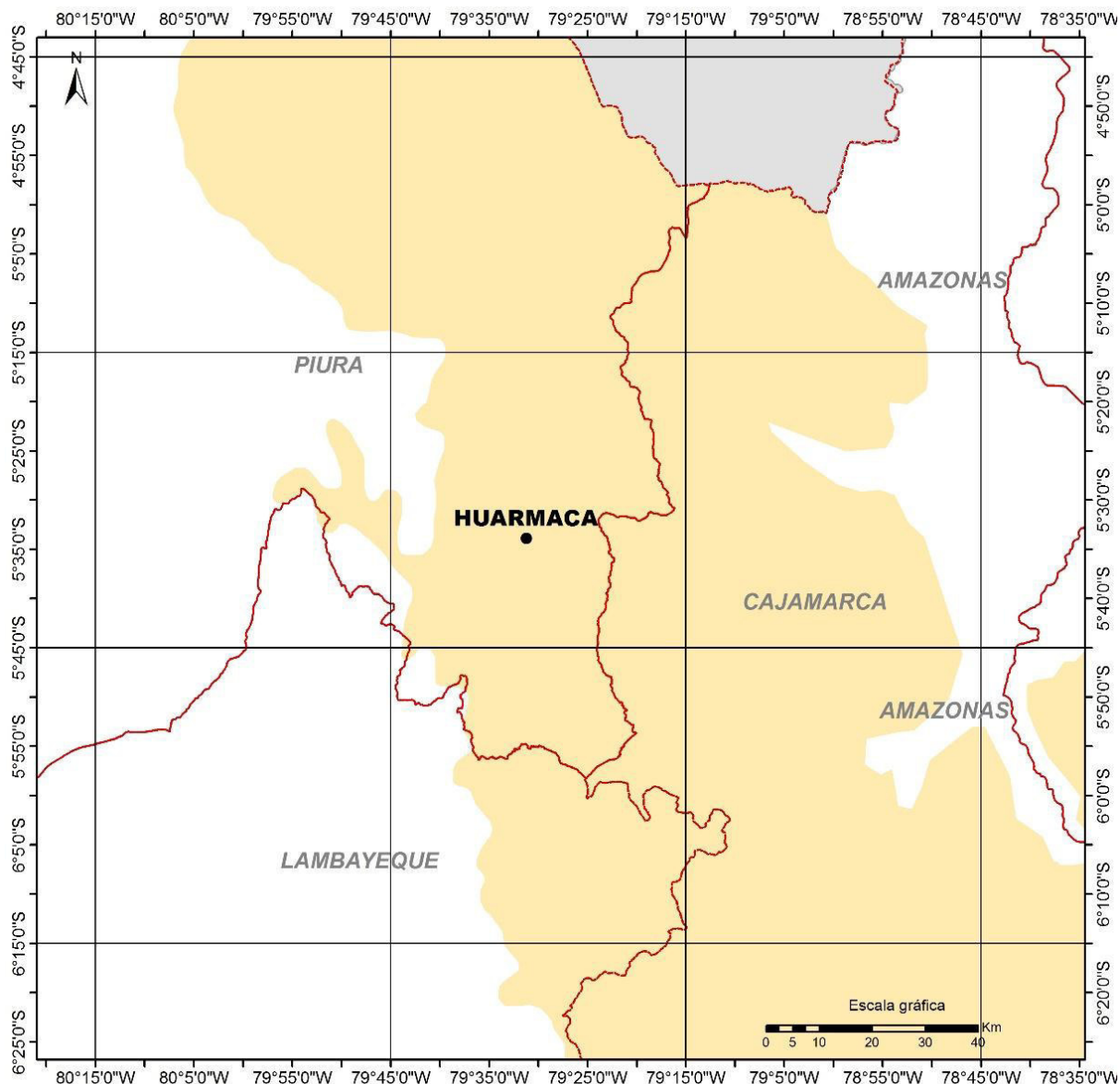
La estación Huarmaca, está a una altura de 2244 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Piura, provincia de Huancabamba, distrito de Huarmaca, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 35, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 96 mm/mes y 130 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Huarmaca en la tabla 22.

**Tabla 21** *Umbrales de precipitación de la Estación Huarmaca.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 52.9
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	26.4 < RR <= 52.9
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	17.5 < RR <= 26.4
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	8.1 < RR <= 17.5

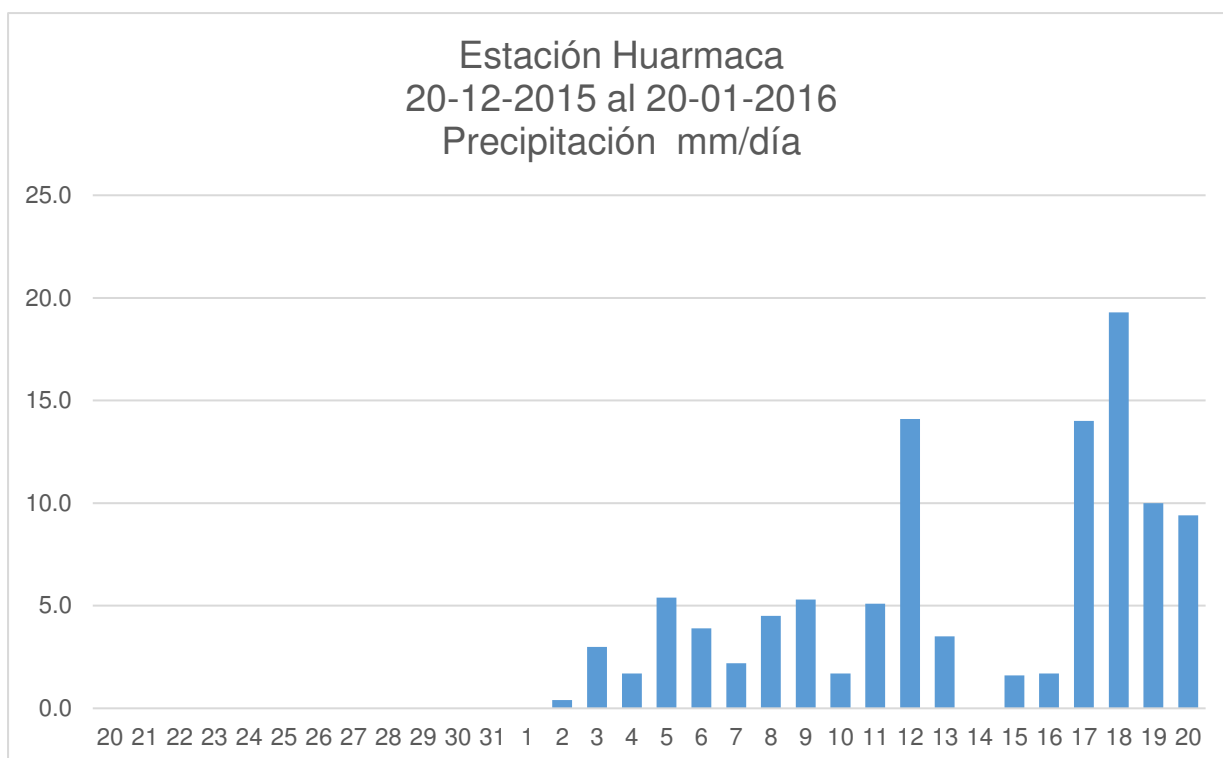
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Huarmaca que se muestra en la figura 36, se han registrado 18 días de precipitación y se han registrado cuatro (4) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (17, 19 y 20 de enero de 2016), lluvioso (18 de enero 2016),



**Figura 35** Muestra la estación convencional Huarmaca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 36** Muestra la precipitación diaria de la estación Huarmaca

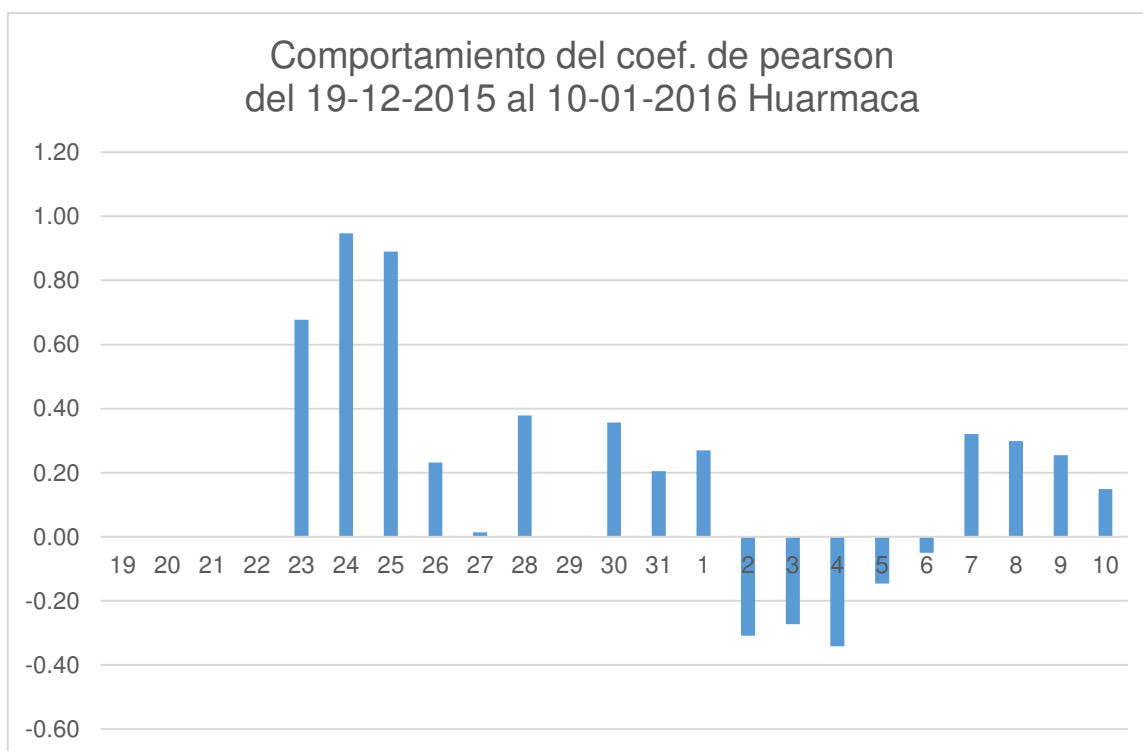
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Huarmaca, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 22, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 34.92 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 22** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Huarmaca.

CODIGO	105064																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 37** Coeficiente de Pearson de la Estación Huarmaca.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Huarmaca usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 37, de los 23 días de pronóstico se observa que tres (03) días muestra buena correlación los días 23, 24 y 25 de diciembre 2015, siendo el día 24 con un valor mayor a 0,7 de correlación.

#### 5.1.8 Jazan

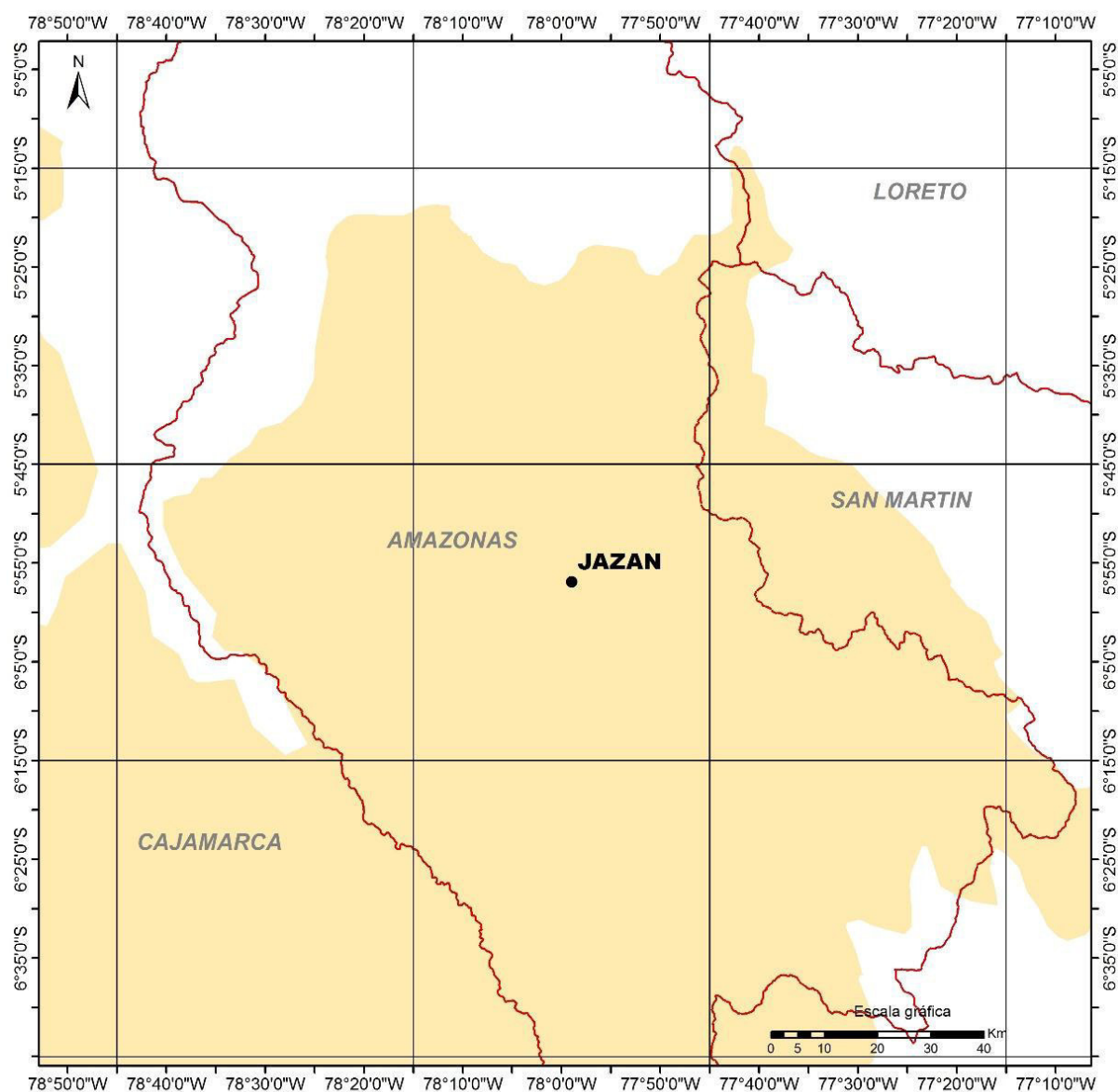
La estación Jazan, está a una altura de 1425 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Amazonas, provincia de Bongora, distrito de Jazan, en la sierra norte, vertiente oriental, como se muestra en la figura 38, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 82 mm/mes y 67 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Jazan en la tabla 23.

**Tabla 23** Umbrales de precipitación de la Estación Jaza.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 32.0
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	19.1 < RR <= 32.0
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	13.4 < RR <= 19.1
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.6 < RR <= 13.4

Fuente: Elaboración Propia

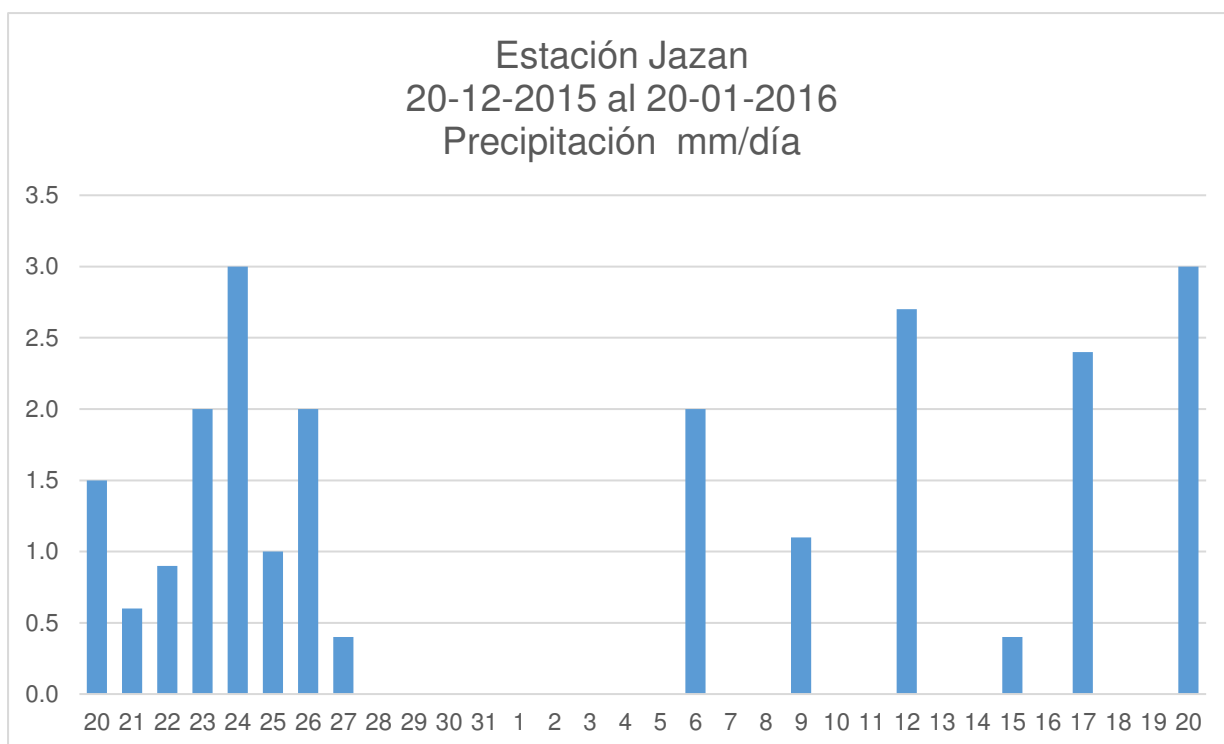
En el periodo de análisis de la estación Jazan que se muestra en la figura 39, se han registrado 14 días de precipitación y no han registrado días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria.



**Figura 38** Muestra la estación convencional Jazan en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia





**Figura 39** Muestra la precipitación diaria de la estación Jazan.

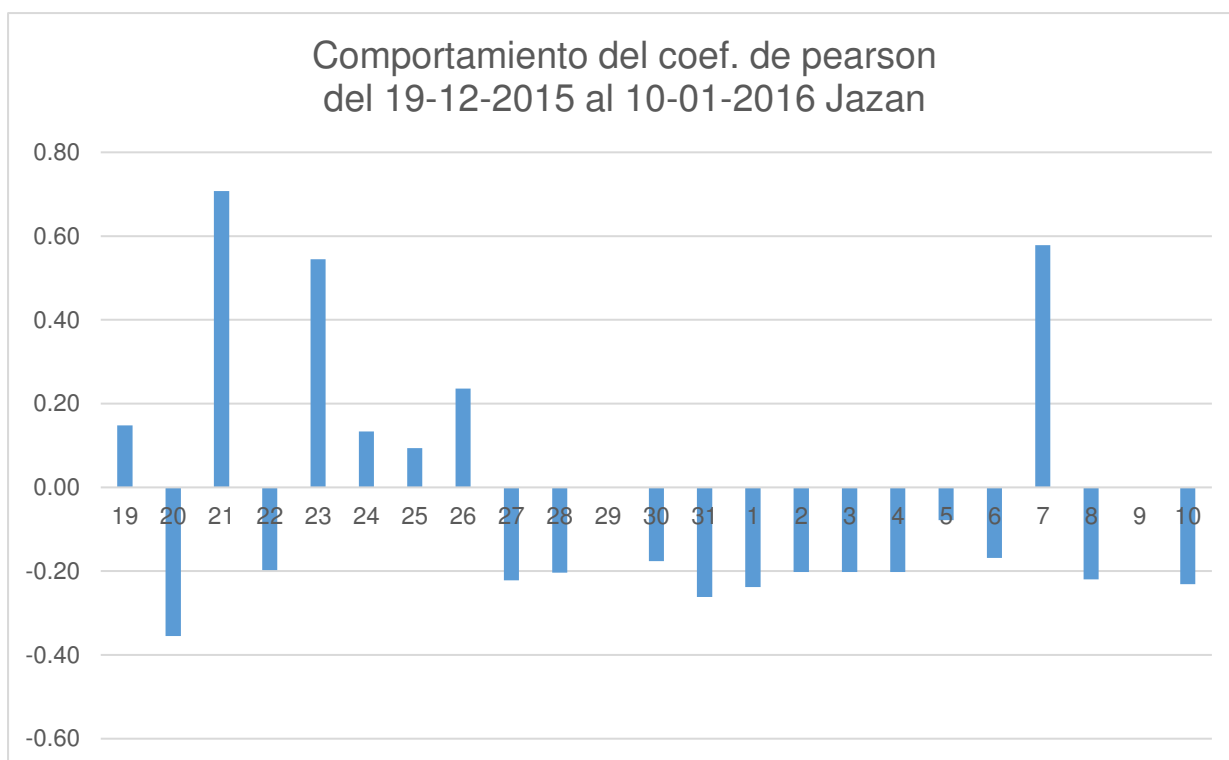
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Jazan, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 24, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 13.43 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

Tabla 24 Datos pronosticados de precipitación en la Estación Jazan.

CODIGO	105079	JAZAN																														
ESTACION	JAZAN																															
LAT_SIG	-5.9486																															
LONG_SIG	-77.9825																															
ALT	1425	Diciembre de 2015															Enero de 2016															
20	1.5	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
21	0.6	12.45	1.3	1.36																												
22	0.9	0.3	0.13	0.11																												
23	2.0	0.02	0.01	0.2	0.28																											
24	3.0	0.5	0	2.95	0.54	2.7																										
25	1.0	0.5	0.63	0.95	1.6	3.14	5.06																									
26	2.0	1	1.2	1.91	2.1	1.03	2.12	2.43																								
27	0.4	0.03	0.5	0.58	1.39	1.29	1.3	0.91	0.6																							
28	0.0	0	0	1.14	0.01	0.89	3.29	0.37	0.9	0.2																						
29	0.0	0.4	1.03	0	0.2	2.5	0.08	0.3	0	2.4	0																					
30	0.0		23.4	0	0	0.25	2.81	8.9	0.9	4.6	4.4	0.2																				
31	0.0			0.6	13.43	0.2	7.8	2.7	0.52	2.6	2.9	4.2	5.2																			
1	0.0				0.23	0	0.1	0	0.5	0.3	0	1.9	0.9	0.2																		
2	0.0				0	0.03	0	0	0.1	0	1	0.5	0.7	0																		
3	0.0					0.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
4	0.0							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0														
5	0.0								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
6	2.0									0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
7	0.0										0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0									
8	0.0											2	0.4	0	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
9	1.1												0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
10	0.0													0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
11	0.0														0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
12	2.7																							0								
13	0.0																							0								
14	0.0																							0								
15	0.4																							0								
16	0.0																							0								
17	2.4																							0								
18	0.0																							0								
19	0.0																							0								
20	3.0																							0								

Fuente: Elaboración Propia



***Figura 40 Coeficiente de Pearson de la Estación Jazan.***

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Jazan usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 40, de los 23 días de pronóstico se observa que dos (02) días muestra buena correlación los días 21 de diciembre 2015 y 07 de enero 2016, siendo el día 21 con un valor próximos a 0,7 de correlación.

### **5.1.9 Llama**

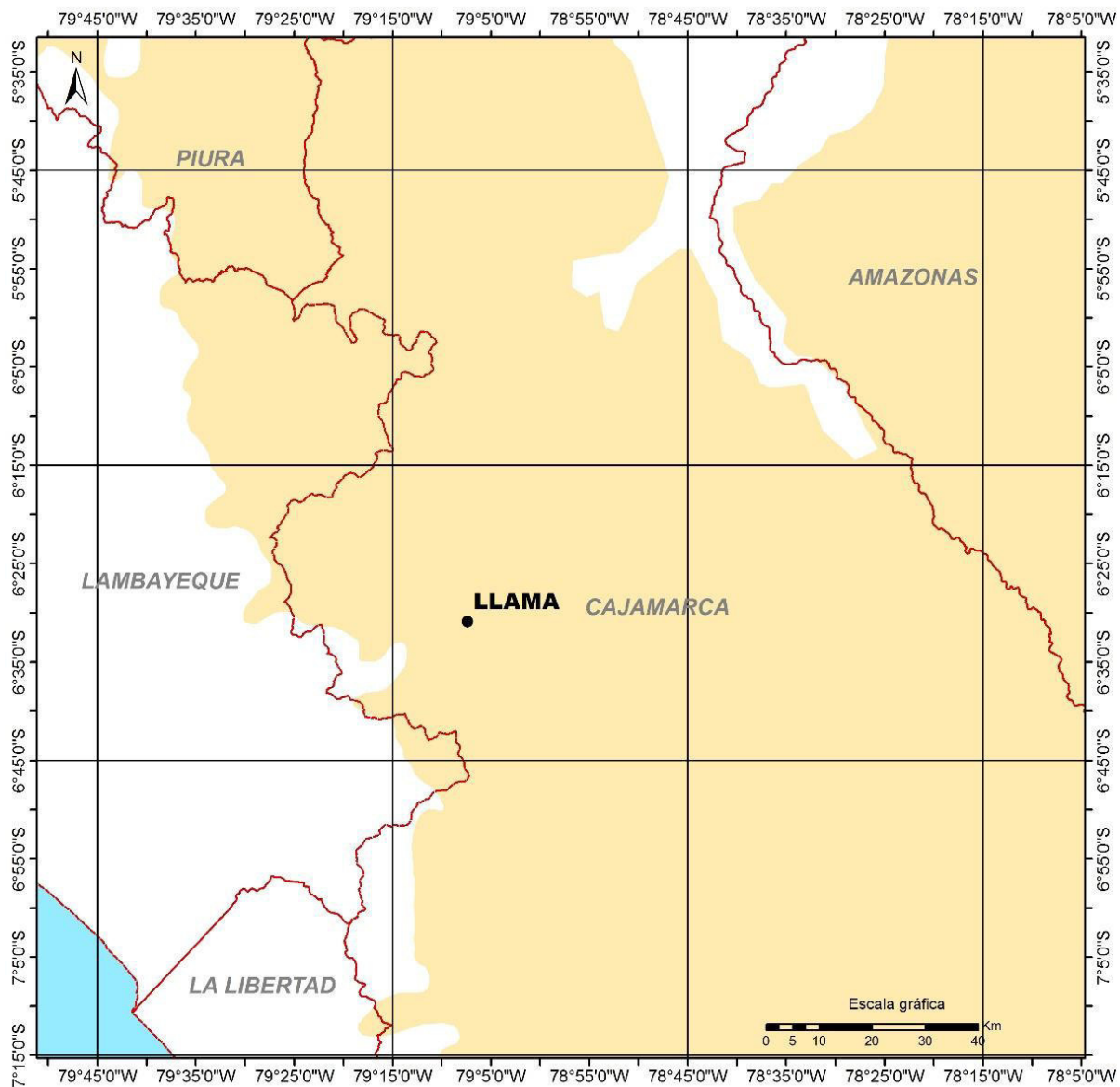
La estación Llama, está a una altura de 2079 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Cajamarca, provincia de Chota, distrito de Llama, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 41, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 56 mm/mes y 85 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Llama en la tabla 25.

**Tabla 25** *Umbrales de precipitación de la Estación Llama.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 52.2
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	27.7 < RR <= 52.2
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	18.8 < RR <= 27.7
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	8.9 < RR <= 18.8

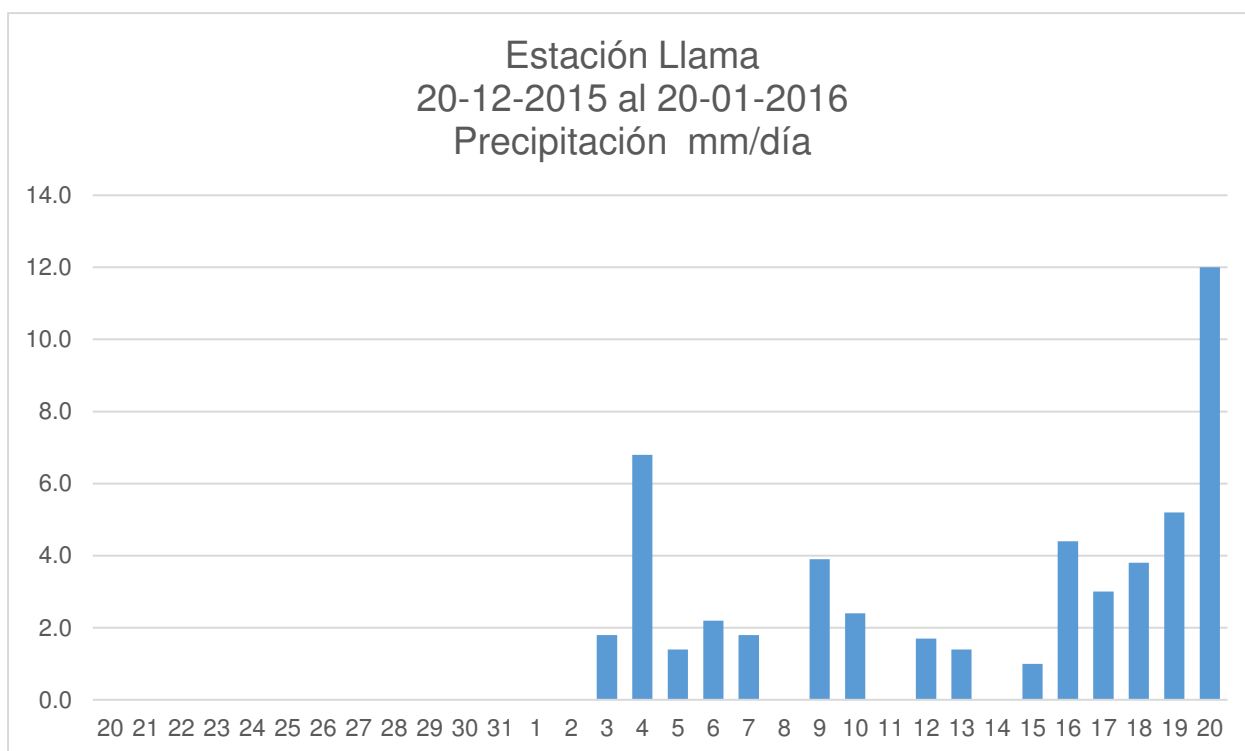
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Llama que se muestra en la figura 42, se han registrado 15 días de precipitación y se han registrado un día con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (20 de enero 2016),



**Figura 41** Muestra la estación convencional Llama en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 42** Muestra la precipitación diaria de la estación Llama.

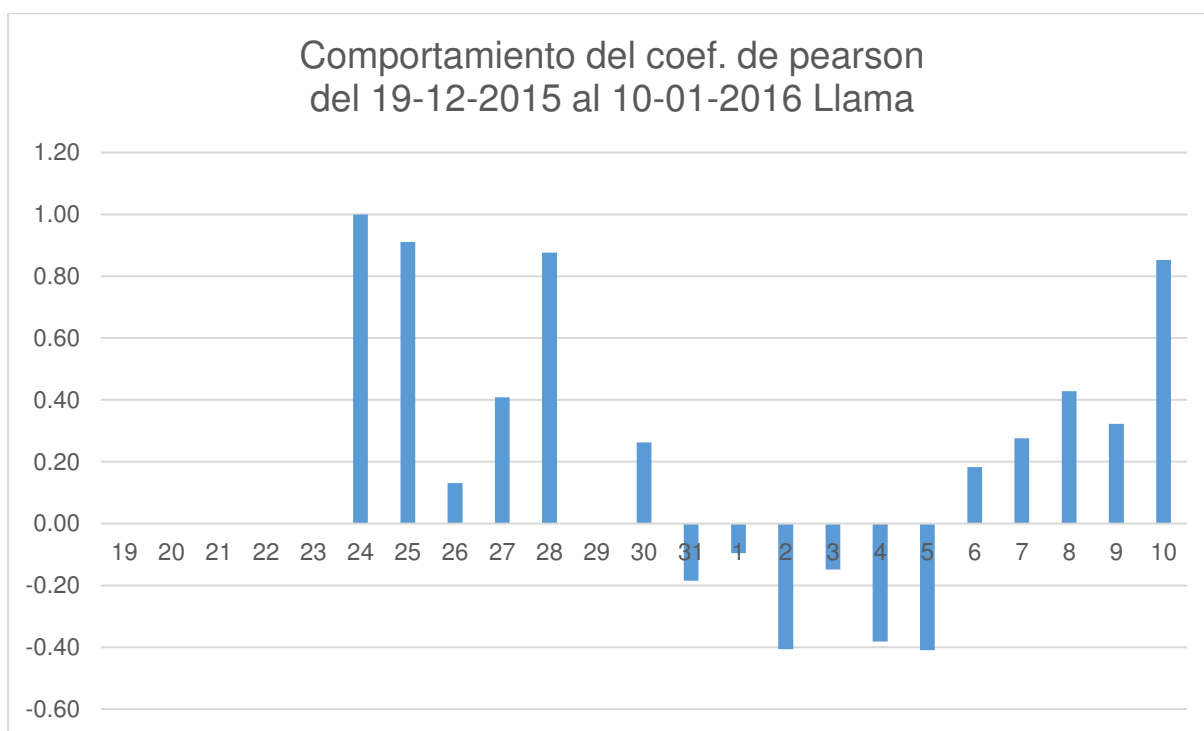
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Llama, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 26, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 2.6 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 26** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Llama.

CODIGO	106053	LLAMA																																				
ESTACION	LLAMA																																					
LAT_SIG	-6.5147																																					
LONG_SIG	-79.1228																																					
ALT	2079	Diciembre de 2015															Enero de 2016																					
20	0.0	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
21	0.0		0																																			
22	0.0		0	0																																		
23	0.0	0.01	0	0	0																																	
24	0.0	0	0	0	0	0																																
25	0.0	0	0	0	0	0	0																															
26	0.0	0	0	0	0	0	0	0																														
27	0.0	0.01	0	0	0	0	0	0	0																													
28	0.0	0.23	0	0.02	0	0	0	0	0	0																												
29	0.0	0.7	0	0.2	0.01	0	0	0	0	0	0																											
30	0.0		0.19	2.78	0	0	0	0	0	0	0	0																										
31	0.0			7.5	0.6	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0																								
1	0.0				0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																							
2	0.0					0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																						
3	1.8						0.13	0	1.88	1.23	0.1	0	0.7	0	0	0	0																					
4	6.8							0.65	0	0.41	1.7		0.2	0.1	0	0	0	0																				
5	1.4								0	0	0		0	0.7	0	0	0	0	0																			
6	2.2									0.1	0.1		0.1	0.11	1.2	0.14	0	0	0	0																		
7	1.8									1			0.3	0.2	0.4	0.29	0.9	0.4	0.2	0																		
8	0.0												0.2	0.4	0.4	0.6	0.2	1.22	0.8	0.4	0.4																	
9	3.9														0	0	0	0	0	0	0	0.44																
10	2.4														0	0	0	0	0	0	0	0.02	3.33															
11	0.0															0	0	0	0	0	0	0	0	0														
12	1.7																0	0	0	0	0	0	0	0	0													
13	1.4																	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
14	0.0																		0	0	0	0	0	0	0	0	0											
15	1.0																			0	0	0	0	0	0	0	0	0										
16	4.4																				0.2	0	0	0	0	0	0	0										
17	3.0																					0.4	0.3	0	0	0	0	0										
18	3.8																						2	0	0	0	0	0										
19	5.2																								2.6	0.2	0.2	1.1										
20	12.0																												1.8									
																														1.33								

Fuente: Elaboración Propia



***Figura 43*** Coeficiente de Pearson de la Estación Llama.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Llama usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 43, de los 23 días de pronóstico se observa que cuatro (04) días muestra buena correlación los días 24, 25 y 28 de diciembre 2015 y 10 de enero 2016, siendo todos con valores mayores a 0,7 de correlación.

#### **5.1.10 Salala**

La estación Salala, está a una altura de 2800 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Piura, provincia de Huancabamba, distrito El Carmen de la Frontera, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 44, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre de 111 mm/mes y 96 mm/mes para enero. Así mismo se muestran los umbrales de precipitación diaria para la estación Salala en la tabla 27.

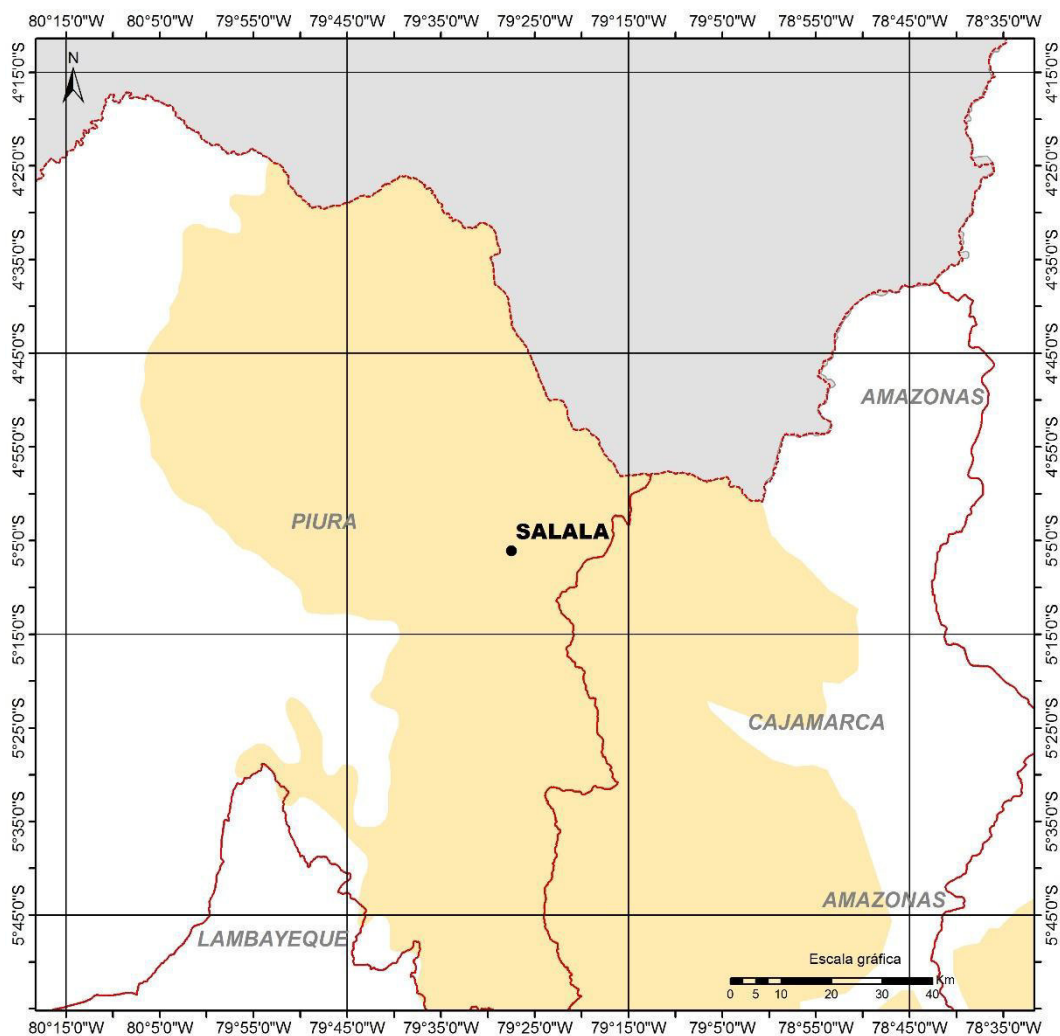


**Tabla 27** *Umbrales de precipitación de la Estación Salala*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 30.2
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	18.1 < RR <= 30.2
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	12.5 < RR <= 18.1
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.2 < RR <= 12.5

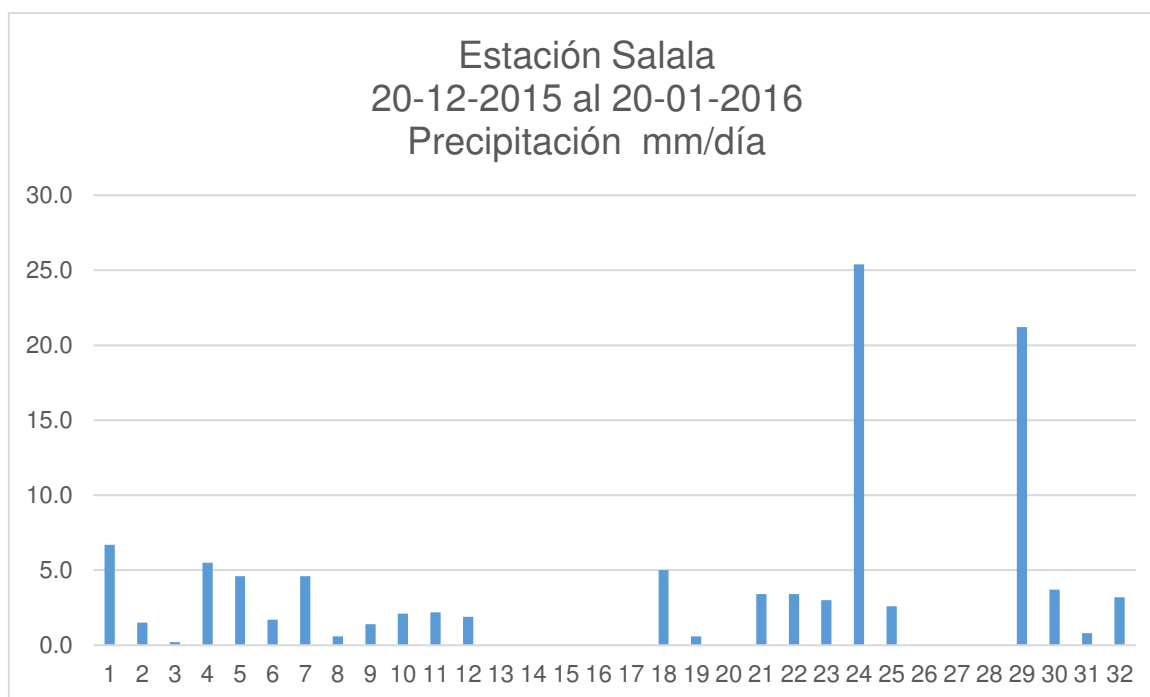
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Salala que se muestra en la figura 45, se han registrado 23 días de precipitación y se han registrado tres (3) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (20 de diciembre 2015) y muy lluvioso (12 y 17 de enero 2016),



**Figura 44** Muestra la estación convencional Salala en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 45** Muestra la precipitación diaria de la estación Salala

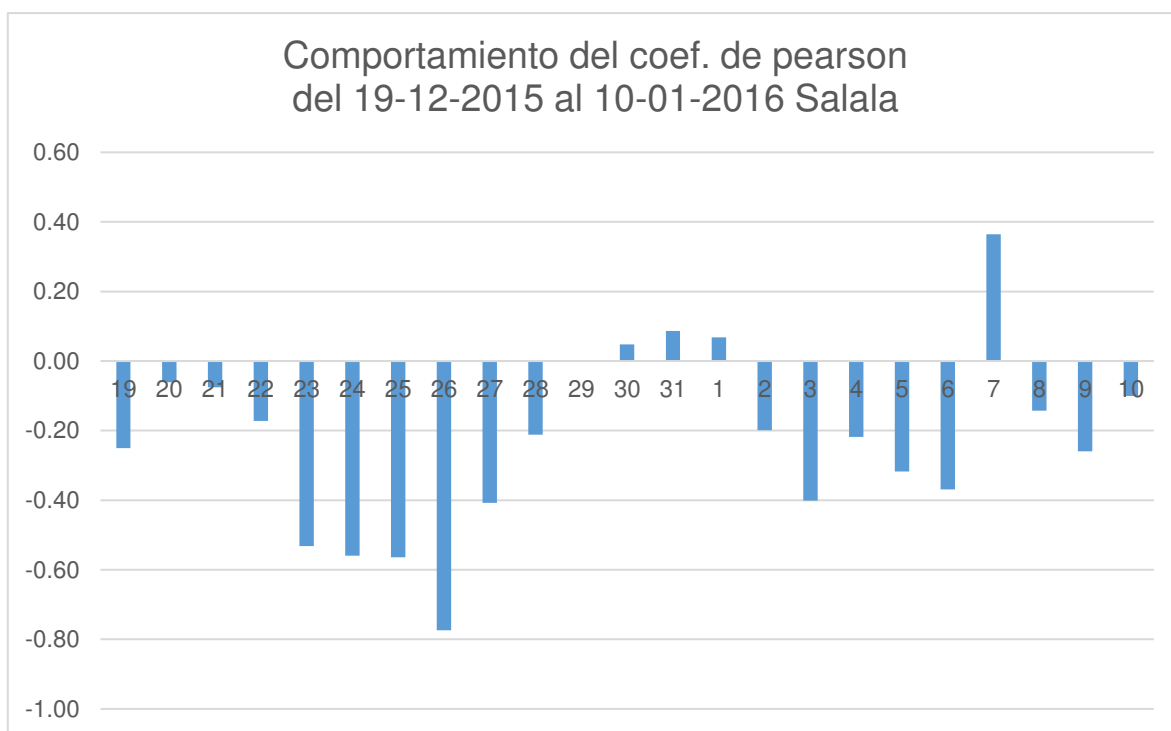
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Salala, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 28, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 59.02 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 28** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Salala.

																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													</
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 46** Coeficiente de Pearson de la Estación Salala.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Salala usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 46, de los 23 días de pronóstico no se observa buena correlación.

### 5.1.11 Salpo

La estación Salpo, está a una altura de 3250 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de La Libertad, provincia de Otuzco, distrito de Salpo, en la sierra norte, vertiente occidental, como se muestra en la figura 47, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre de 54 mm/mes y 92 mm/mes para enero. Así mismo se muestran los umbrales de precipitación diaria para la estación Salpo en la tabla 29.

**Tabla 29** *Umbrales de precipitación de la Estación Salpo.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 23.4
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	16.0 < RR <= 23.4
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	12.4 < RR <= 16.0
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	7.7 < RR <= 12.4

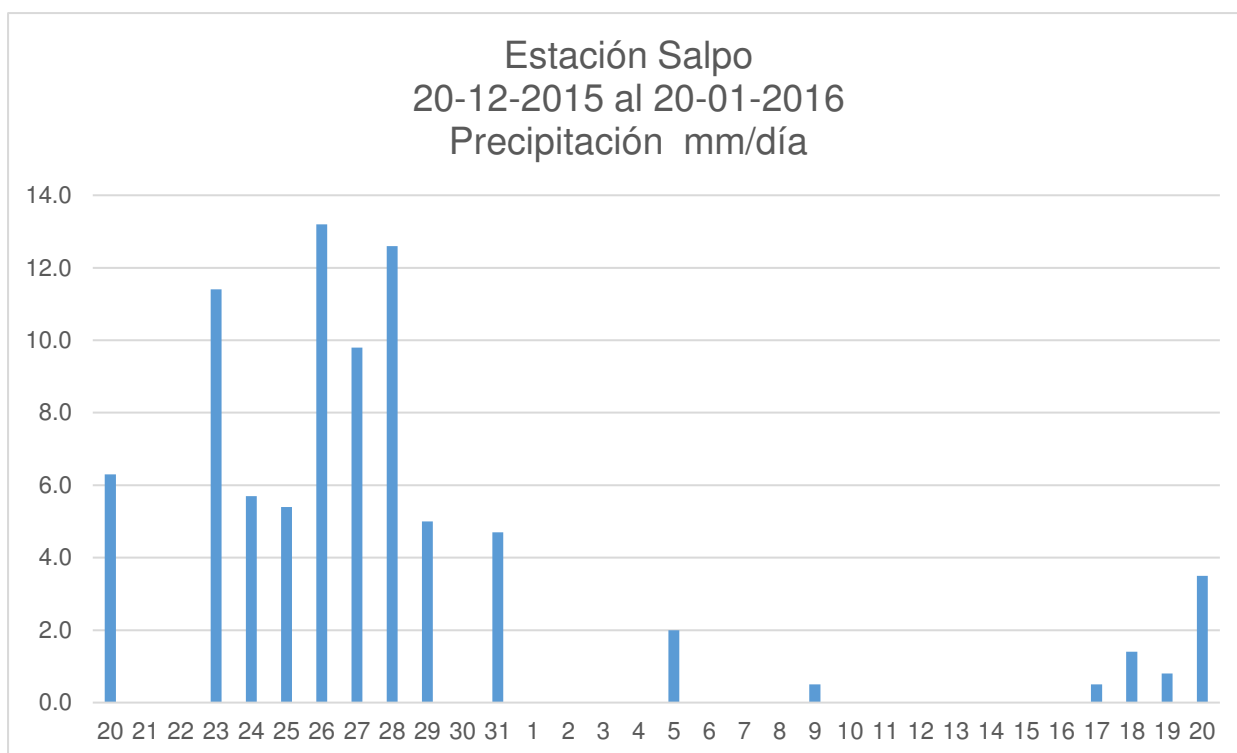
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Salpo que se muestra en la figura 48, se han registrado 15 días de precipitación y se han registrado cuatro (4) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (23 y 27 de diciembre 2015) y lluvioso (26 y 28 de diciembre 2015),



**Figura 47** Muestra la estación convencional Salpo en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 48** Muestra la precipitación diaria de la estación Salpo.

Fuente: Elaboración Propia

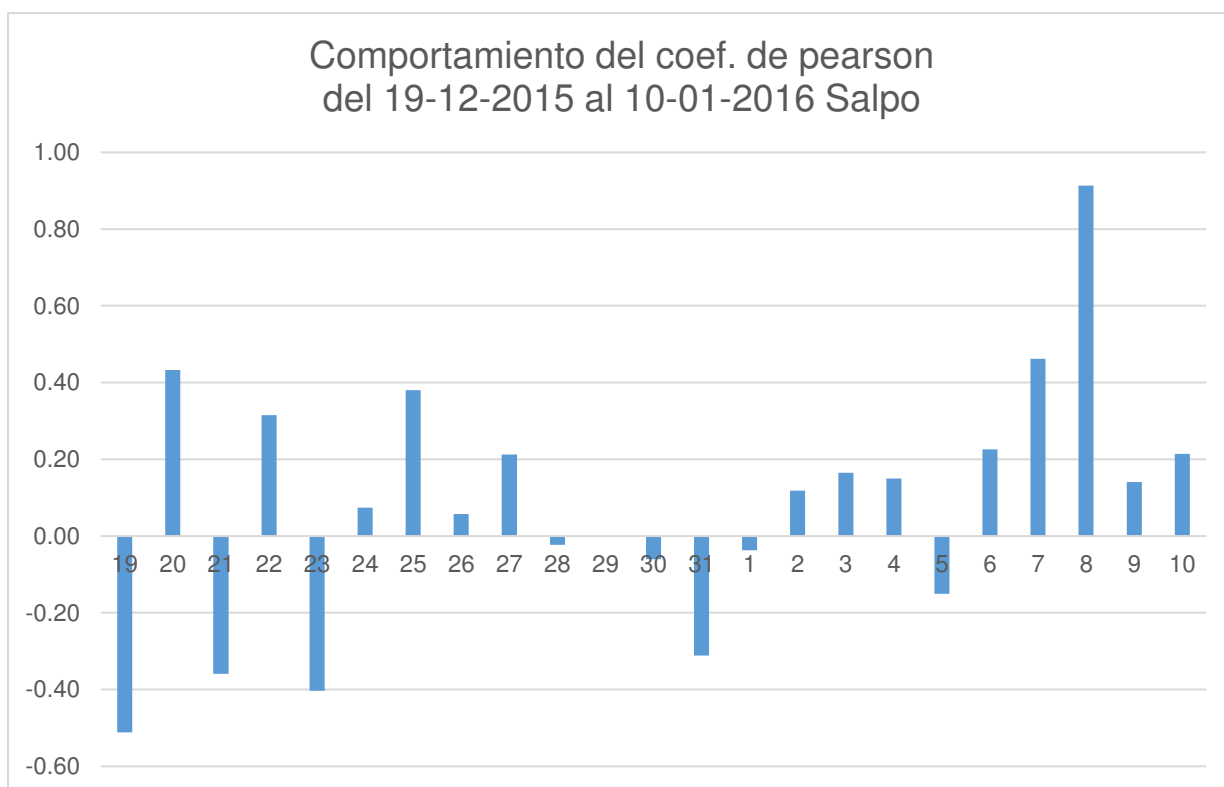
Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Salpo, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 30, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 78.8 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.



**Tabla 30** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Salpo.

CODIGO	108001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														</
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 49** Coeficiente de Pearson de la Estación Salpo

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Salpo usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 49, de los 23 días de pronóstico se observa un solo día de buena correlación que es el 08 de enero 2016, siendo el valor mayor a 0,7 de correlación.

### 5.1.12 Chiquian

La estación Chiquian, está a una altura de 3382 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, provincia de Bolognesi, distrito de Chiquian, en la sierra central, vertiente occidental, como se muestra en la figura 50, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre 89 mm/mes y 141 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diario para la estación Chiquian en la tabla 31.

**Tabla 31** *Umbrales de precipitación de la Estación Chiquian.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 24.0
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	16.0 < RR <= 24.0
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	12.3 < RR <= 16.0
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	8.3 < RR <= 12.3

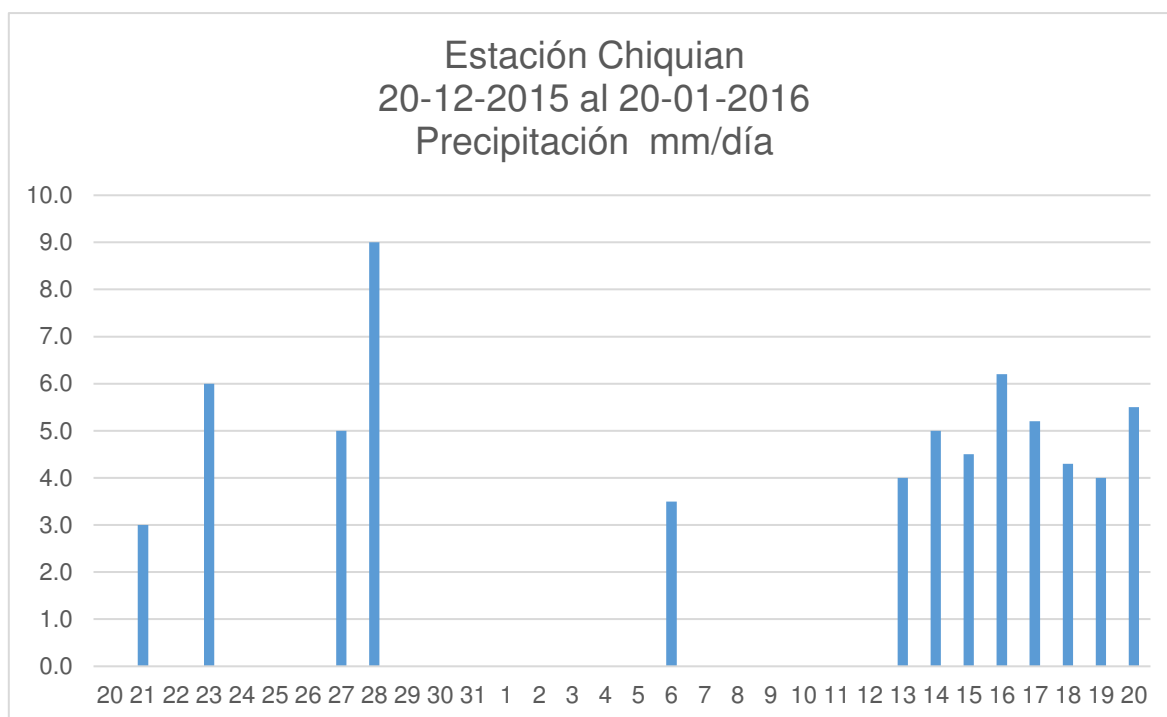
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Chiquian que se muestra en la figura 51, se han registrado 13 días de precipitación y se han registrado un día con lluvia dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (28 de diciembre 2015),



**Figura 50** Muestra la estación convencional Chiquian en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 51** Muestra la precipitación diaria de la estación Chiquian

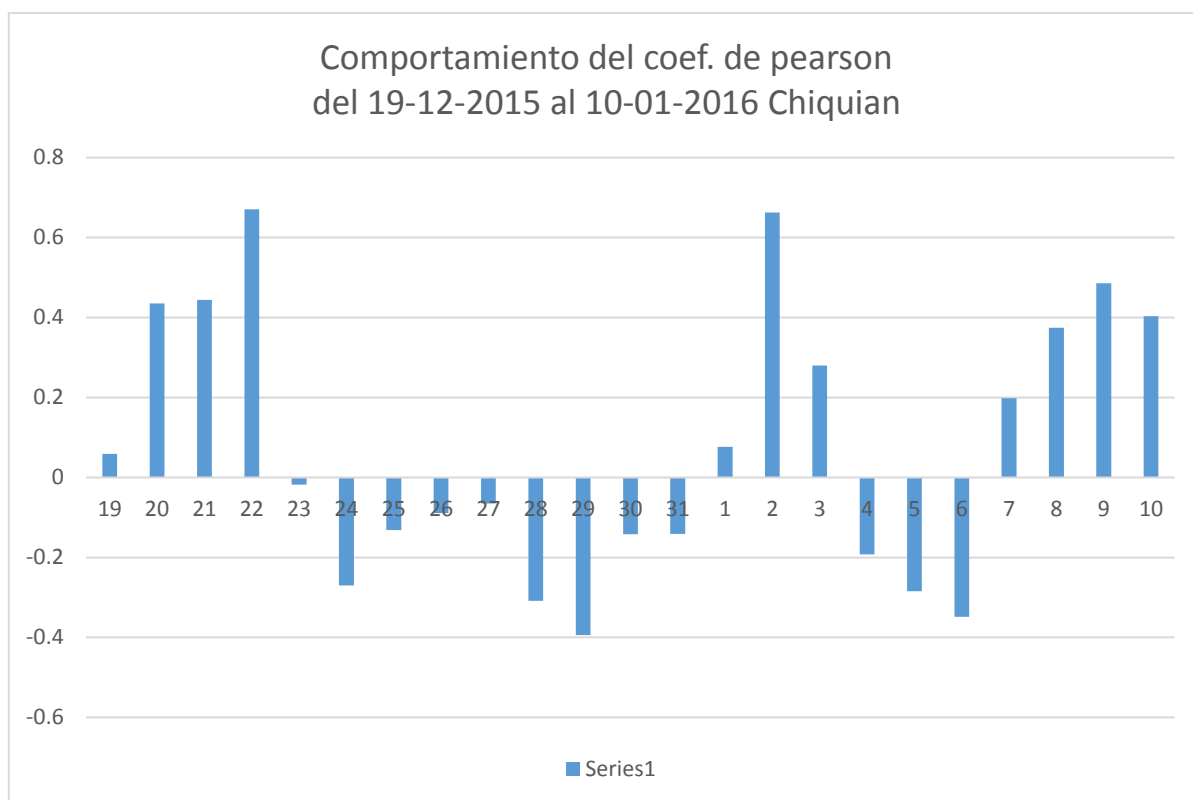
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Chiquian, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 32, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 49.3 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 32** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chiquian

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 52** Coeficiente de Pearson de la Estación Chiquian

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Chiquian, usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 52, de los 23 días de pronóstico se observa que dos (02) días muestra correlación próxima a 0,7 los días 22 de diciembre 2015 y 02 de enero 2016.

### 5.1.13 Yauyos

La estación Yauyos, está a una altura de 2294 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Lima, provincia de Yauyos, distrito de Colonia, en la sierra central, vertiente occidental, como se muestra en la figura 53, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre de 40 mm/mes y 61 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Yauyos en la tabla 33.

**Tabla 33** *Umbrales de precipitación de la Estación Yauyos.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 16.6
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	11.2 < RR <= 16.6
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	8.7 < RR <= 11.2
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	5.0 < RR <= 8.7

Fuente: Elaboración Propia

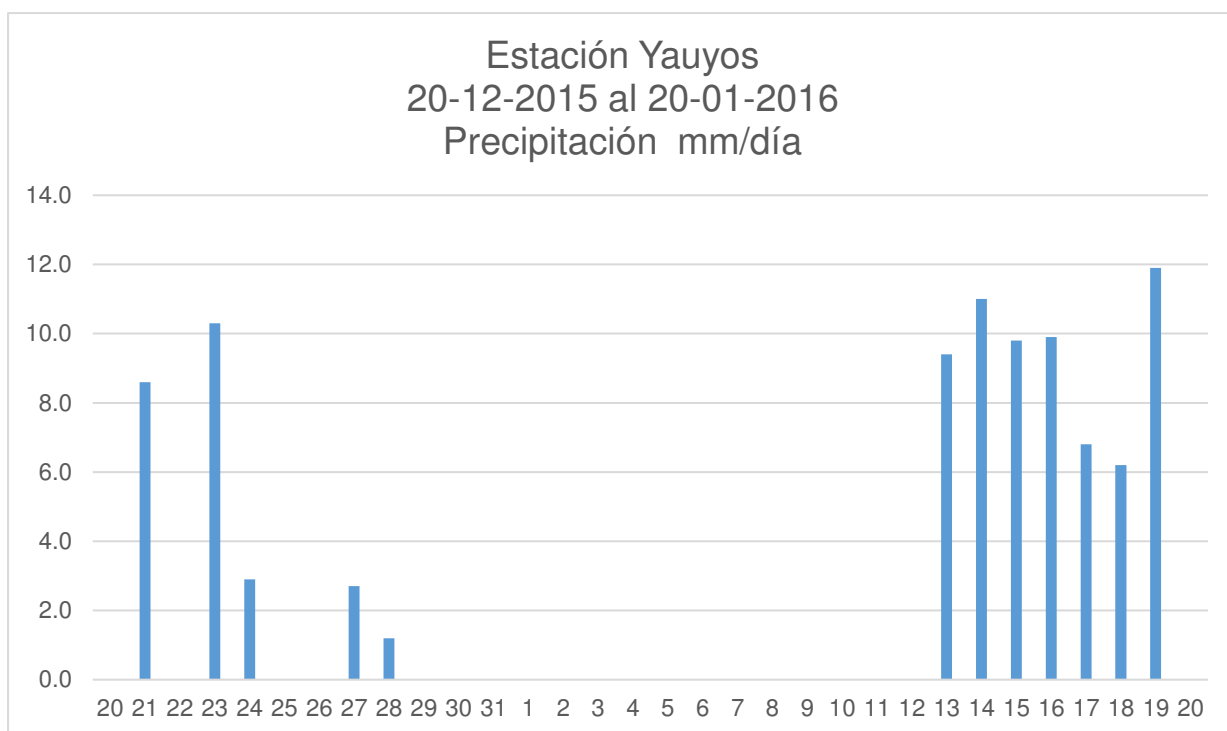
En el periodo de análisis de la estación Yauyos que se muestra en la figura 54, se han registrado 12 días de precipitación y se han registrado nueve (9) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (21 de diciembre 2015, 17 y 18 de enero 2016), lluvioso (23 de diciembre 2015, 13, 14, 15 y 16 de enero 2016) y muy lluvioso (19 de enero 2016),





**Figura 53** Muestra la estación convencional Yauyos en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 54** Muestra la precipitación diaria de la estación Yauyos

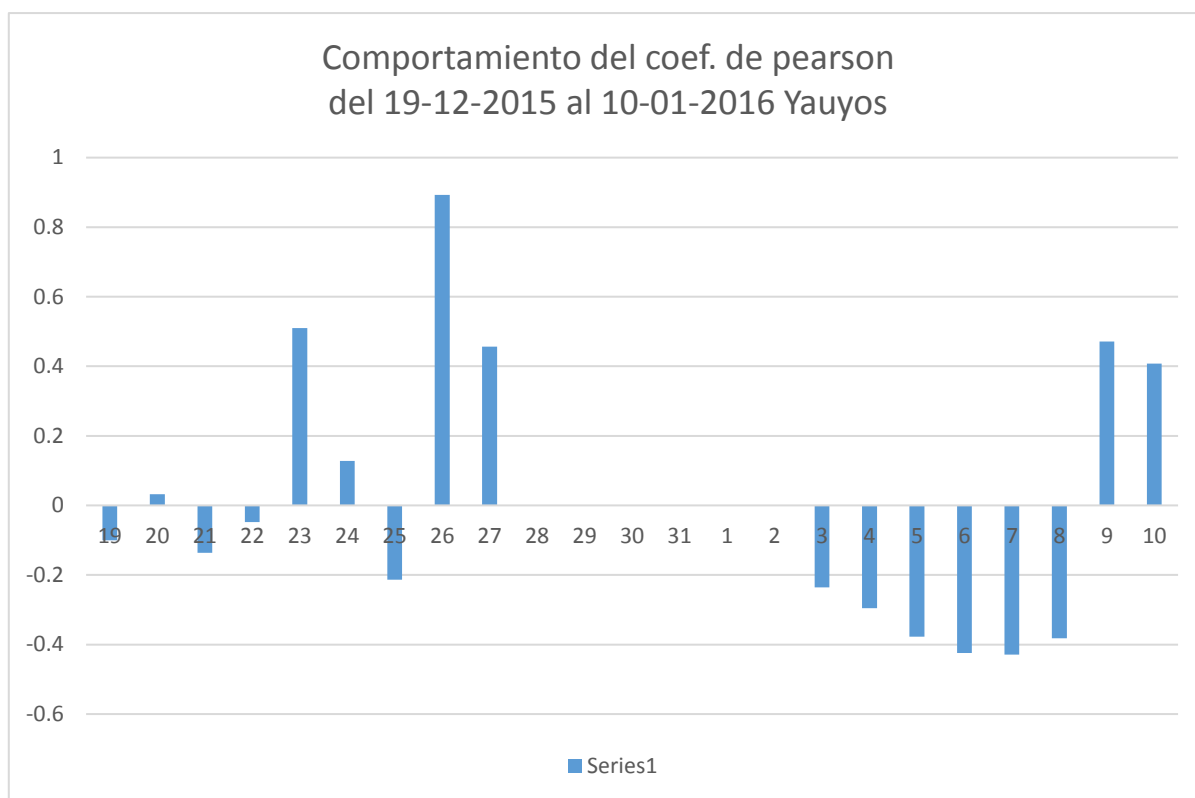
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Yauyos, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 34, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 40.6 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

Tabla 34 Datos pronosticados de precipitación en la Estación Yauyos

CODIGO	112057																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 55** *Coeficiente de Pearson de la Estación Yauyos*

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Yauyos usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 55, de los 23 días de pronóstico se observa un solo día de muy buena correlación que es el 26 de diciembre 2015, siendo el valor mayor a 0,7 de la correlación.

#### 5.1.14 Sihuas

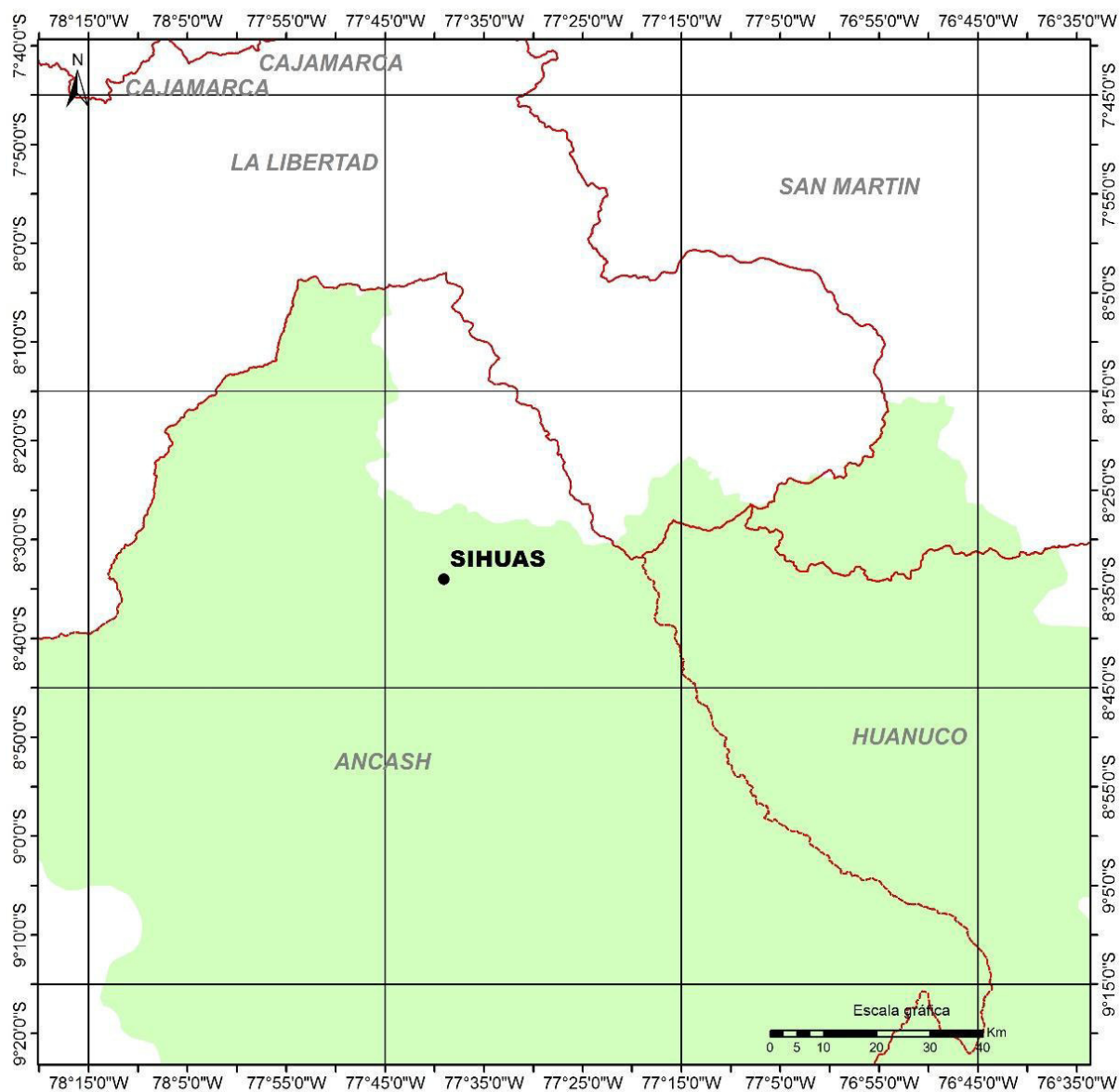
La estación Sihuas, está a una altura de 3375 msnm y se encuentra ubicada en departamento de Ancash, provincia de Sihuas, distrito de Sihuas, en la sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 56, tiene normales mensuales de precipitación para diciembre de 129 mm/mes y 128 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Sihuas en la tabla 35.

**Tabla 35** *Umbrales de precipitación de la Estación Sihuas.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 28.1
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	19.4 < RR <= 28.1
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	15.6 < RR <= 19.4
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	10.4 < RR <= 15.6

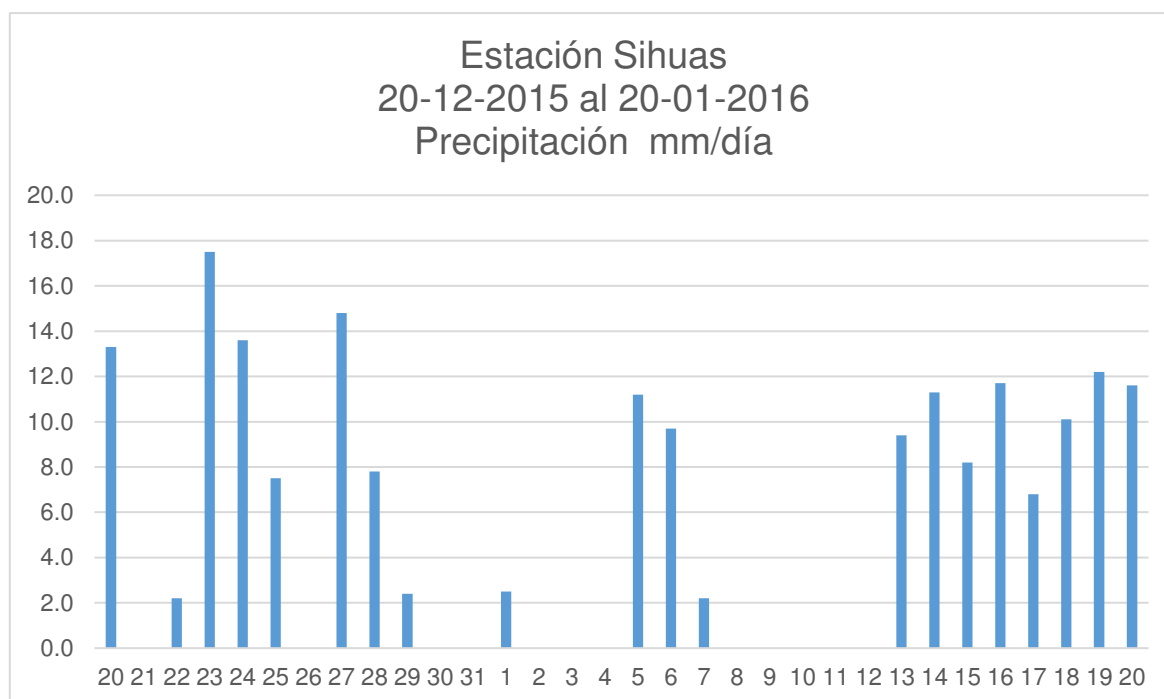
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Sihuas que se muestra en la figura 57, se han registrado 20 días de precipitación y se han registrado nueve (9) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (20, 24 y 27 de diciembre 2015, 5, 14, 16, 19 y 20 de enero 2016) y lluvioso (23 de diciembre 2015),



**Figura 56** Muestra la estación convencional Sihuas en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 57** Muestra la precipitación diaria de la estación Sihuas

Fuente: Elaboración Propia

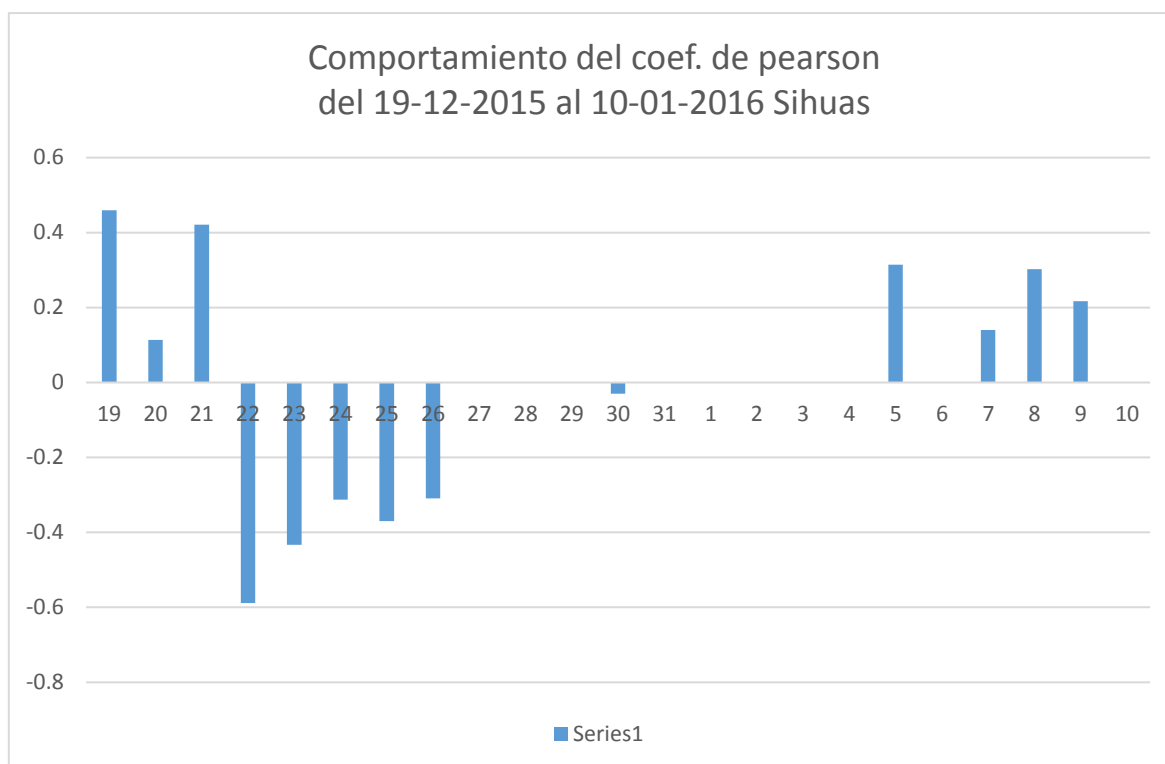
Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Sihuas, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 36, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 11.7 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

Tabla 36 Datos pronosticados de precipitación en la Estación Sihuas

CODIGO	108047																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia





**Figura 58** Coeficiente de Pearson de la Estación Sihuas

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Sihuas usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 48, de los 23 días de pronóstico no se observa ningún día con buena correlación.

### 5.1.15 Chavín

La estación Chavín, está a una altura de 3137 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, provincia de Huari, distrito de Chavín de Huanter, en la sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 59, tiene normales mensuales para diciembre 88 mm/mes y 98 mm/mes para enero. Así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Chavín en la tabla 37.

**Tabla 37** *Umbrales de precipitación de la Estación Chavín.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 20.6
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	13.7 < RR <= 20.6
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	10.6 < RR <= 13.7
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.8 < RR <= 10.6

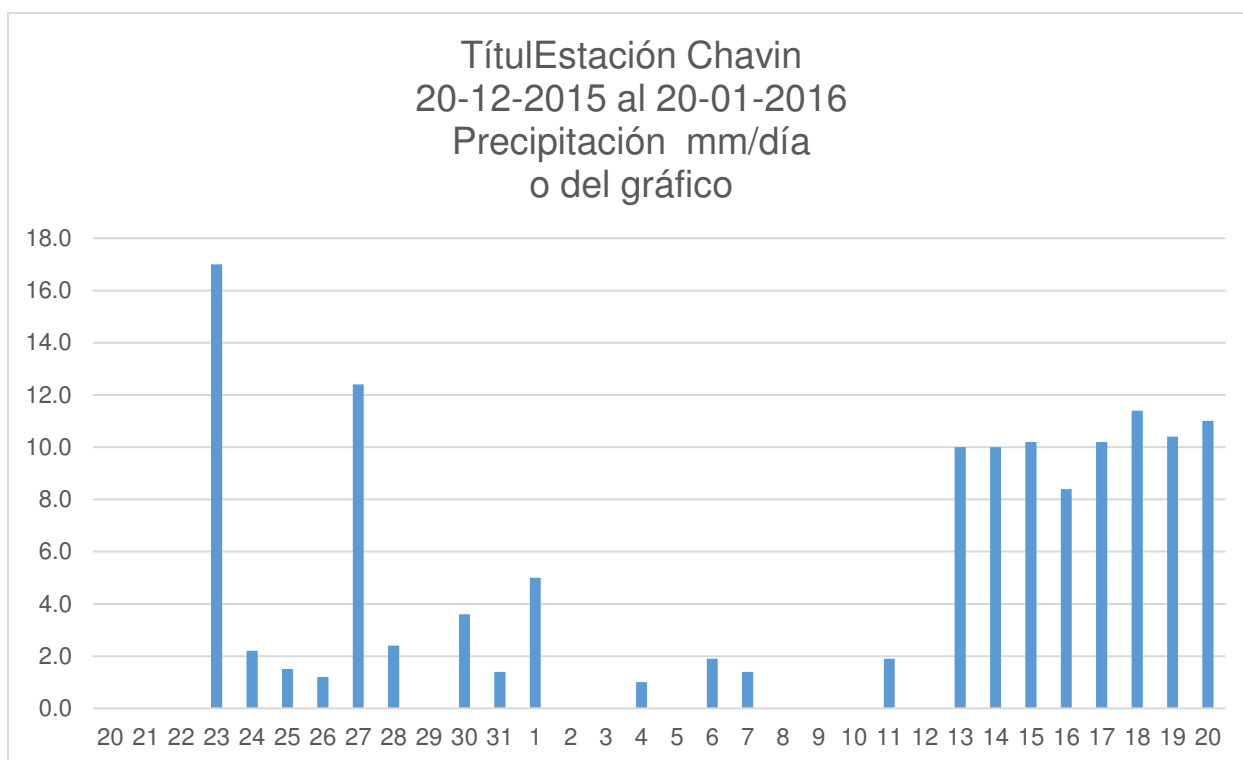
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis de la estación Chavín que se muestra en la figura 60, se han registrado 21 días de precipitación y se han registrado diez (10) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (13, 14, 15, 16, 17 y 19 de enero 2016), lluvioso (27 de diciembre 2015 y 18 y 20 de enero 2016) y muy lluvioso (23 de diciembre 2015),



**Figura 59** Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 60** Muestra la precipitación diaria de la estación Chavín

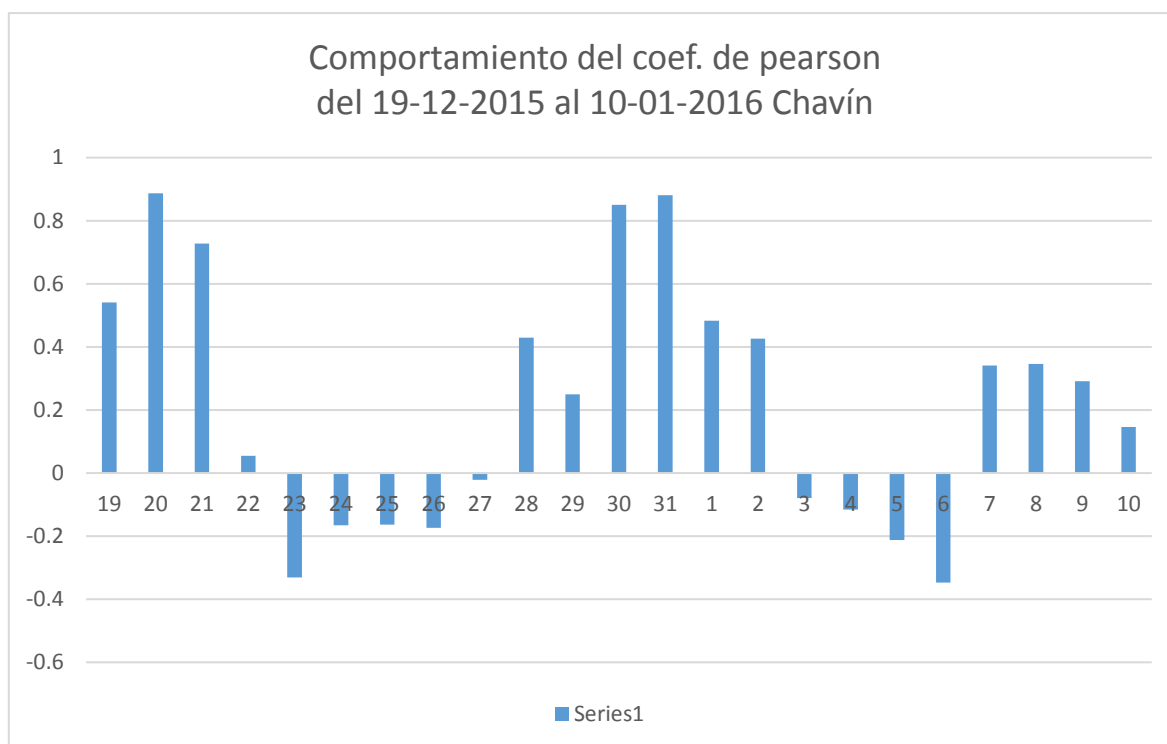
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Chavín, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 38, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 24.1 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 38** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Chavín

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 61** Coeficiente de Pearson de la Estación Chavín

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Chavín usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 61, de los 23 días de pronóstico se observa que cuatro (04) días muestra muy buena correlación que son 20, 21, 30 y 31 de diciembre 2015, siendo los dos últimos con valores mayores a 0,7 de correlación.

### 5.1.16 Jacas Chico

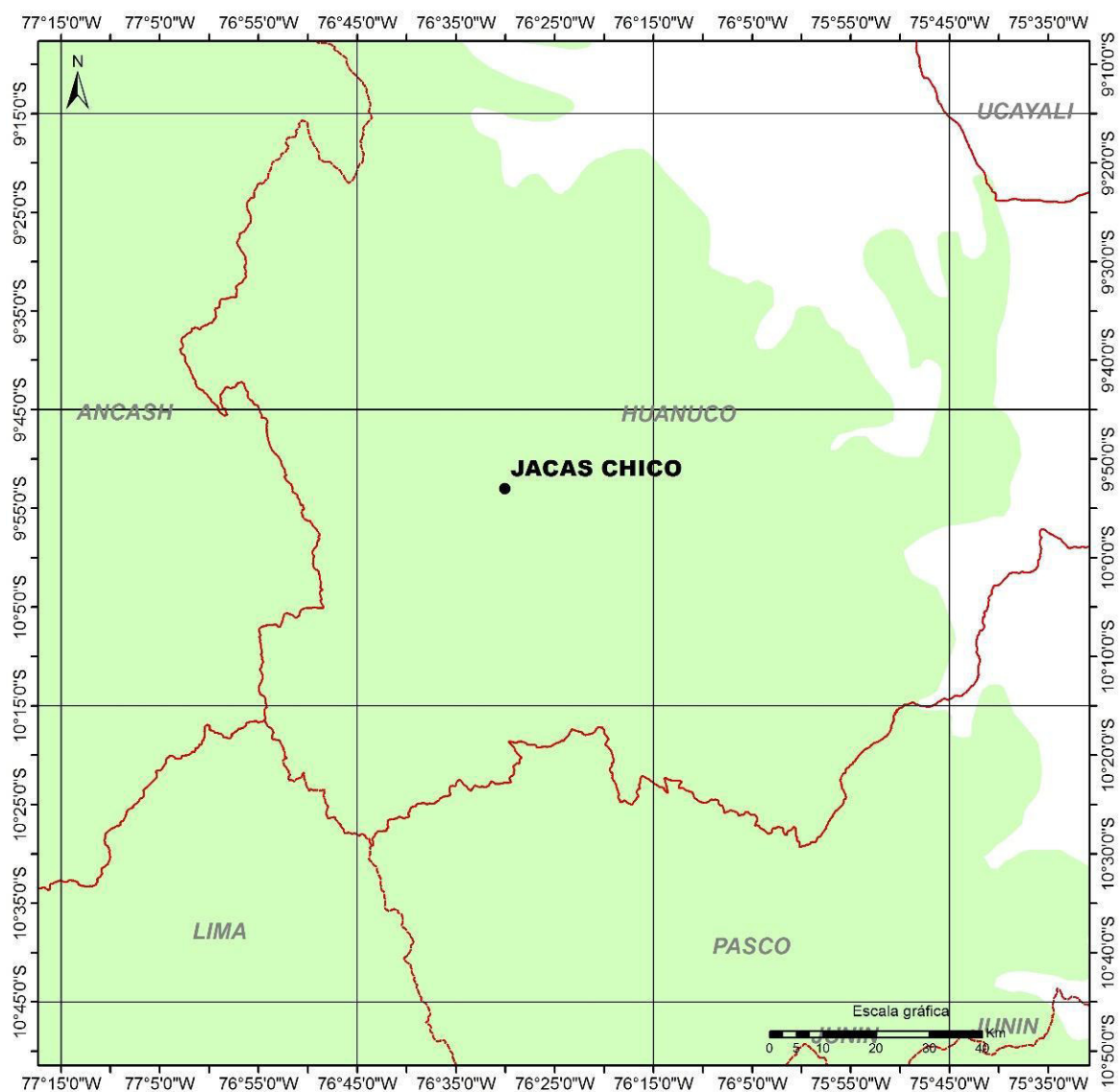
La estación Jacas Chico, está a una altura de 3673 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Huánuco, provincia de Yorrowilca, distrito de Jacas Chico, en la sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 62, tiene normales mensuales para diciembre de 88 mm/mes y 89 mm/mes para enero. Así mismo se muestran los umbrales de precipitación diarios para la estación Jacas Chico en la tabla 39.

**Tabla 39** *Umbrales de precipitación de la Estación Jacas Chico.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 27.8
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	18.9 < RR <= 27.8
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	14.8 < RR <= 18.9
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	9.6 < RR <= 14.8

Fuente: Elaboración Propia

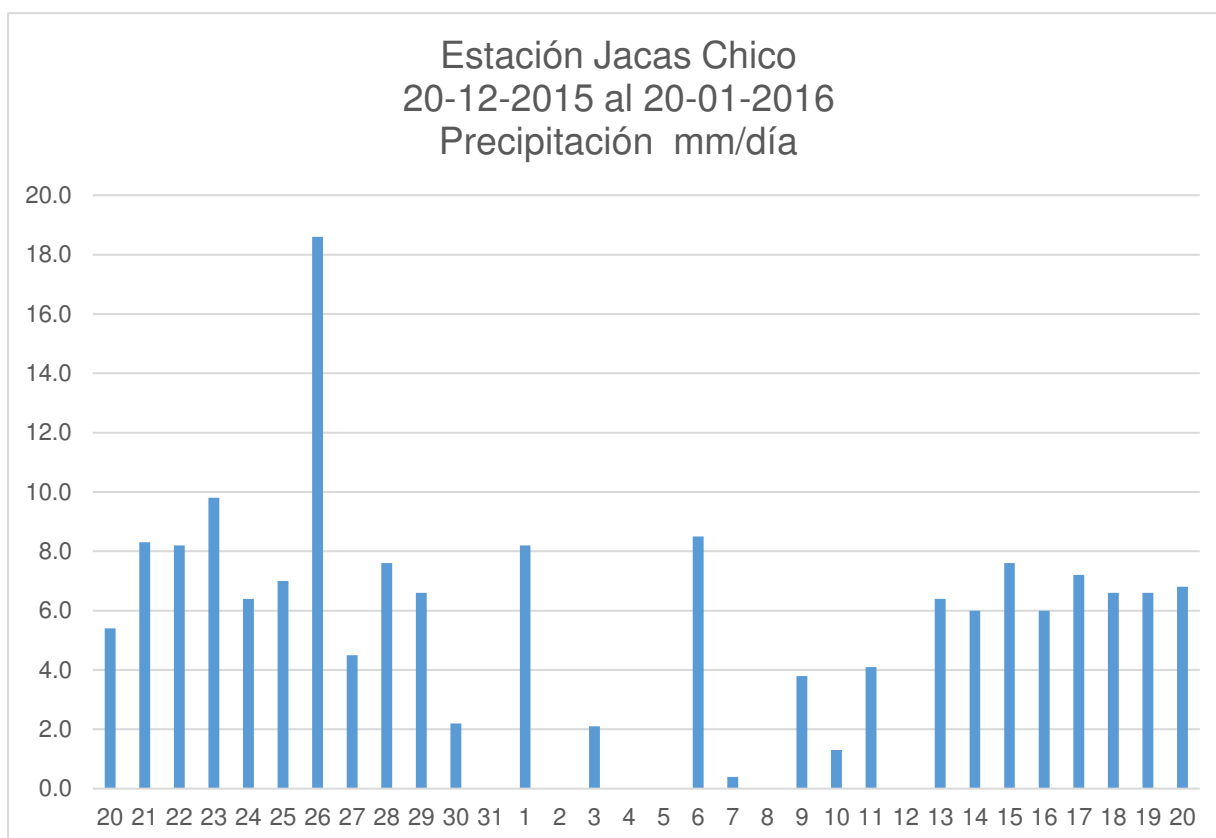
En el periodo de análisis de la estación Jacas Chico que se muestra en la figura 63, se han registrado 26 días de precipitación y se han registrado un día con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; muy lluvioso (26 de diciembre 2015),



**Figura 62** Muestra la estación convencional Jacas Chico en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia





**Figura 63** Muestra la precipitación diaria de la estación Jacas Chico.

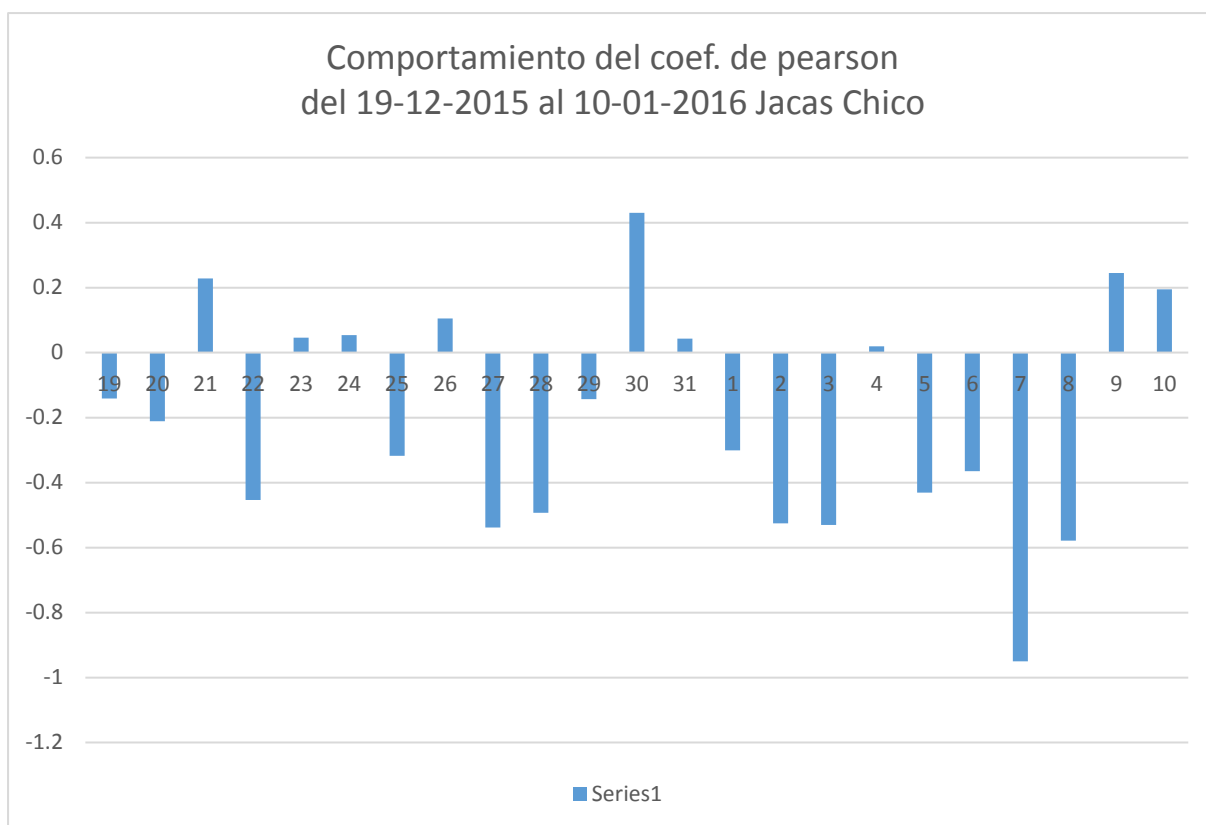
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Jacas Chico, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 40, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 24.9 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 40** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Jacas Chico.

CODIGO	109022	ESTACION	JACAS CHICO	JACAS CHICO																											
LAT_SIG	-9.8836	LAT_SIG	-76.5003	DICIEMBRE														ENERO													
LONG_SIG	3673	ALT	3673	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
20	5.4	0.6																													
21	8.3	3.4	0.0																												
22	8.2	12.1	3.6	0.2																											
23	9.8	11.6	13.7	8.7	2.1																										
24	6.4	0.5	3.7	1.3	2.8	1.0																									
25	7.0	1.6	8.1	1.5	13.1	2.9	2.2																								
26	18.6	0.2	0.2	0.8	0.4	0.5	2.8	0.8																							
27	4.5	10.5	2.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7	0.4																						
28	7.6	2.0	0.5	0.8	2.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4																					
29	6.6	0.0	0.0	1.6	15.6	9.6	1.0	0.7	0.2	0.2	0.1																				
30	2.2	8.0	0.9	1.5	2.1	0.3	0.7	0.2	1.9	0.0	1.9																				
31	0.0		0.0	24.9	1.6	0.1	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0																			
1	8.2		11.9	9.7	15.8	4.1	16.1	0.3	2.1	4.0	18.5	11.8																			
2	0.0			1.3	11.2	14.0	13.3	15.0	20.1	8.4	4.4	14.6	17.7																		
3	2.1				0.1	1.5	1.4	1.6	7.4	0.5	0.3	9.5	17.4	4.9																	
4						0.0	4.5	3.5	8.0		0.8	0.0	0.1	0.2	0.0																
5							3.2	0.1	1.2		0.1	0.1	0.9	0.3	0.6	0.0															
6	8.5						0.2	0.3	1.0	0.0	1.2	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0															
7	0.4							0.2	6.1		0.0	3.3	0.7	0.7	0.5	0.0	0.3	4.3													
8	0.0										6.0	0.2	1.2	3.9	5.7	3.9	7.1	2.7	2.8												
9	3.8										1.2	2.0	1.2	0.5	0.1	0.4	7.4	9.9	0.6	1.0											
10	1.3											0.1	0.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	4.5	0.1										
11	4.1												2.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.3	0.0	0.0									
12														2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5							
13	6.4														0.0	5.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
14	6.0															0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
15	7.6																0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
16	6.0																	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0						
17	7.2																		0.2	2.9	0.8	0.0									
18	6.6																			0.7	0.6	0.0									
19	6.6																														
20	6.8																														

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 64** *Coeficiente de Pearson de la Estación Jacas Chico.*

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Jacas Chico usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 64, de los 23 días de pronóstico no se observa ningún día con buena correlación.

#### **5.1.17 Yanahuanca**

La estación Yanahuanca, está a una altura de 3190 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Pasco, provincia de Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca, sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 65, tiene normales mensuales de 88 mm/mes para diciembre y 89 mm/día para enero, así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Yanahuanca, en la tabla 41.

**Tabla 41** *Umbrales de precipitación de la Estación Yanahuanca.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 23.6
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	17.0 < RR <= 23.6
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	13.8 < RR <= 17.0
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	9.3 < RR <= 13.8

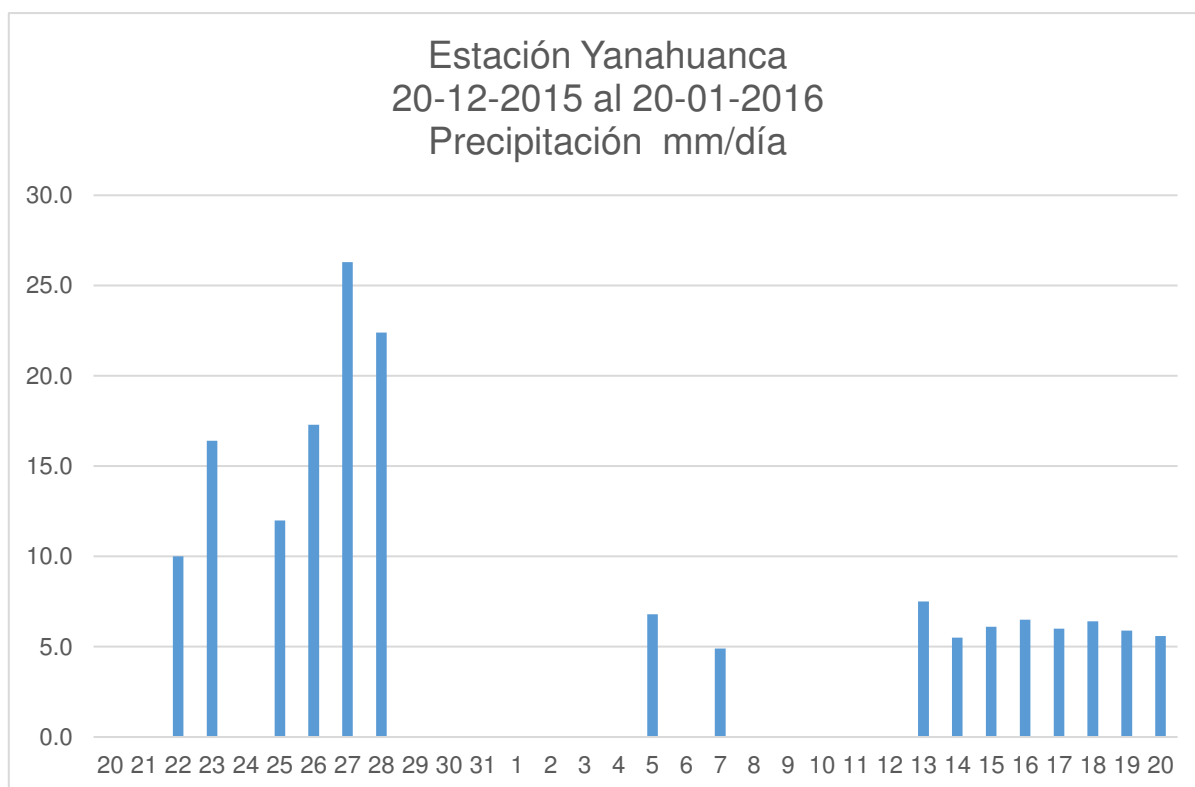
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis en la estación Yanahuanca, que se muestra en la figura 66, donde se observa que tuvo 16 días de precipitación y se han registrado once (11) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (22 y 25 de diciembre 2015), lluvioso (23 de diciembre 2015), muy lluvioso (28 de diciembre 2015) y extremadamente lluvioso (27 de diciembre 2015),



**Figura 65** Muestra la estación convencional Cajabamba en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 66** Muestra la precipitación diaria de la estación Yanahuanca

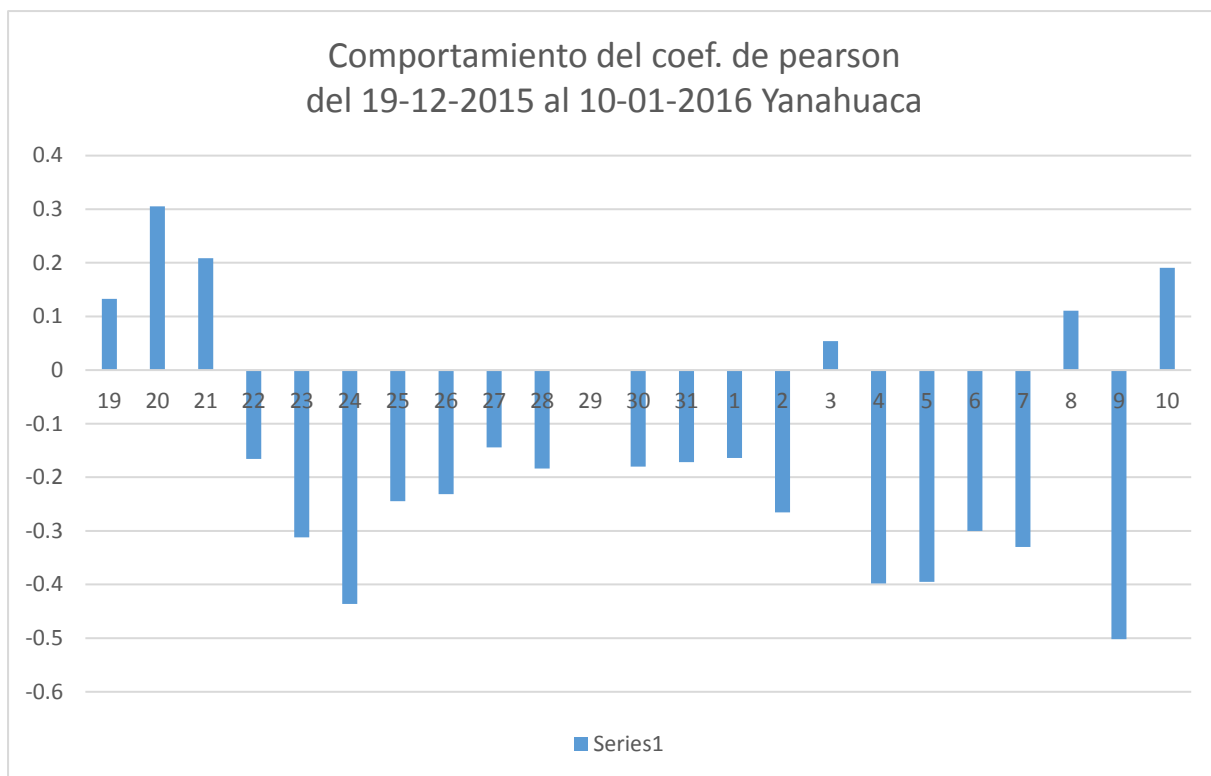
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Yanahuaca, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 42, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 26.9 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 42** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Yanahuanca.

CODIGO	110007																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 67** Coeficiente de Pearson de la Estación Yanahuanca.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Yanahuaca usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 67, de los 23 días de pronóstico no se observa ningún día con buena correlación.

#### 5.1.18 La Oroya

La estación La Oroya, está a una altura de 4007 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Junín, provincia de Yauli, distrito de Santa Rosa de Sacco, en la sierra central, vertiente occidental, como se muestra en la figura 68, tienen sus normales mensuales de precipitación para diciembre de 83 mm/mes y 84 mm/mes para enero, así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación La Oroya, en la tabla 43.



**Tabla 43** Umbrales de precipitación de la Estación La Oroya.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 23.4
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	15.1 < RR <= 23.4
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	11.3 < RR <= 15.1
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.3 < RR <= 11.3

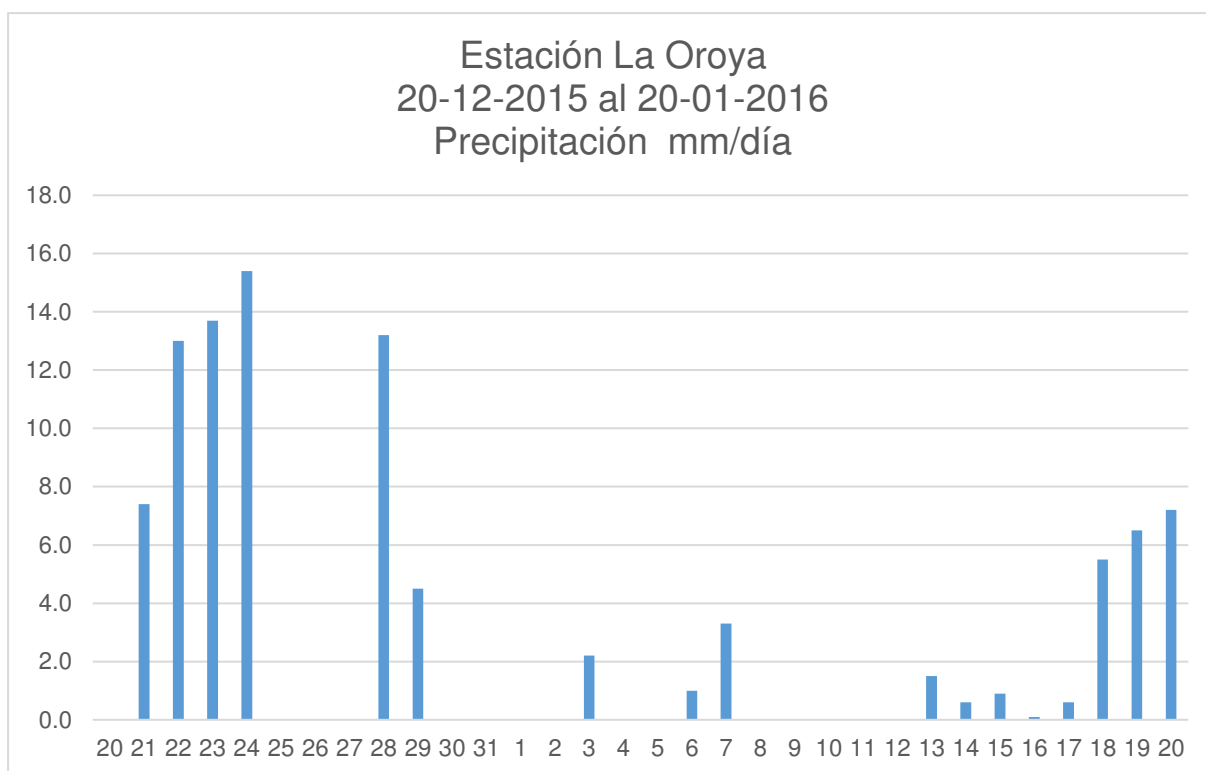
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis en la estación La Oroya que se muestra en la figura 69, se han registrado 15 días de precipitación y se han registrado siete (7) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (21 de diciembre 2015, 19 y 20 de enero 2016), lluvioso (22, 23 y 28 de enero 2016) y muy lluvioso (24 de diciembre 2016),



**Figura 68** Muestra la estación convencional La Oroya en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 69** Muestra la precipitación diaria de la estación La Oroya

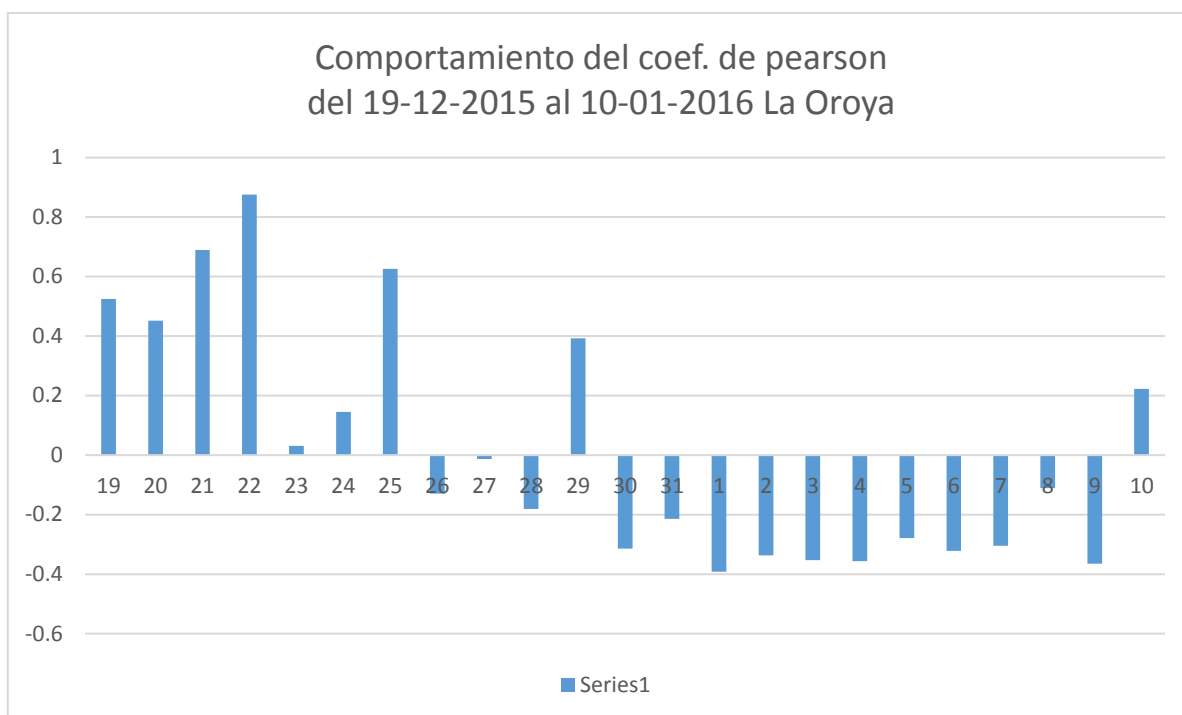
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica La Oroya, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 44, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 60.7 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

Tabla 44 Datos pronosticados de precipitación en la Estación La Oroya.

CODIGO	111046																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</
--------	--------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 70** Coeficiente de Pearson de la Estación La Oroya.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional La Oroya, usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 70, de los 23 días de pronóstico se observa que dos (02) días muestra buena correlación los días 21 y 22 de diciembre 2015, teniendo este último una muy buena correlación por encima de 0,7.

#### 5.1.19 Huayao

La estación Huayao está a una altura de 3360 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Junín, en la provincia de Chupaca, distrito de Huachac, en la sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 71. Tiene sus normales de precipitación mensual para diciembre 99 mm/mes y enero 118 mm/mes, así mismo se muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Huayao, en la tabla 45.

**Tabla 45** Umbrales de precipitación de la Estación Huayao.

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 26.2
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	16.2 < RR <= 26.2
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	11.9 < RR <= 16.2
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	6.2 < RR <= 11.9

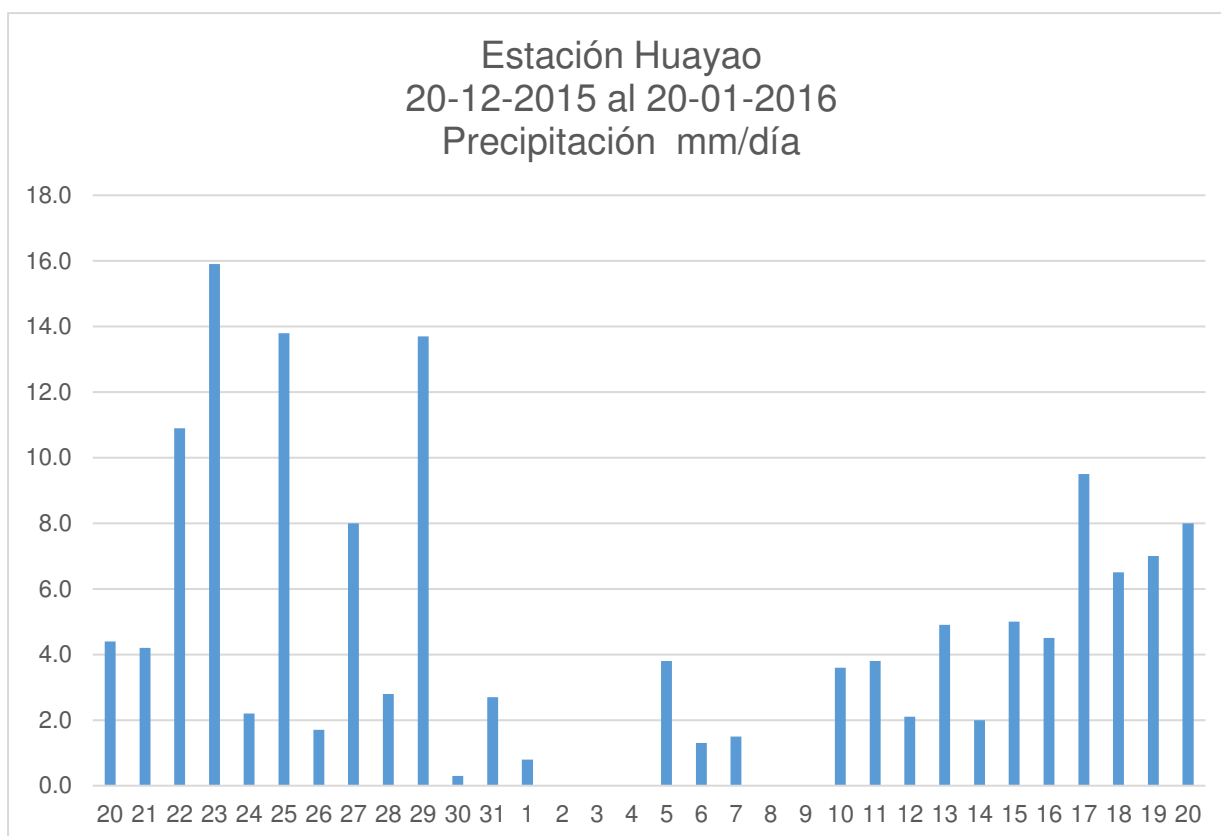
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis, de la estación Huayao, que se muestra en la figura 72, se han registrado 27 días con precipitación y se han registrado ocho (8) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (27 de diciembre 2015, 17, 18, 19 y 20 de enero 2016) y lluvioso (23, 24 y 29 de diciembre 2015),



**Figura 71** Muestra la estación convencional Huayao en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 72** Muestra la precipitación diaria de la estación Huayao.

Fuente: Elaboración Propia

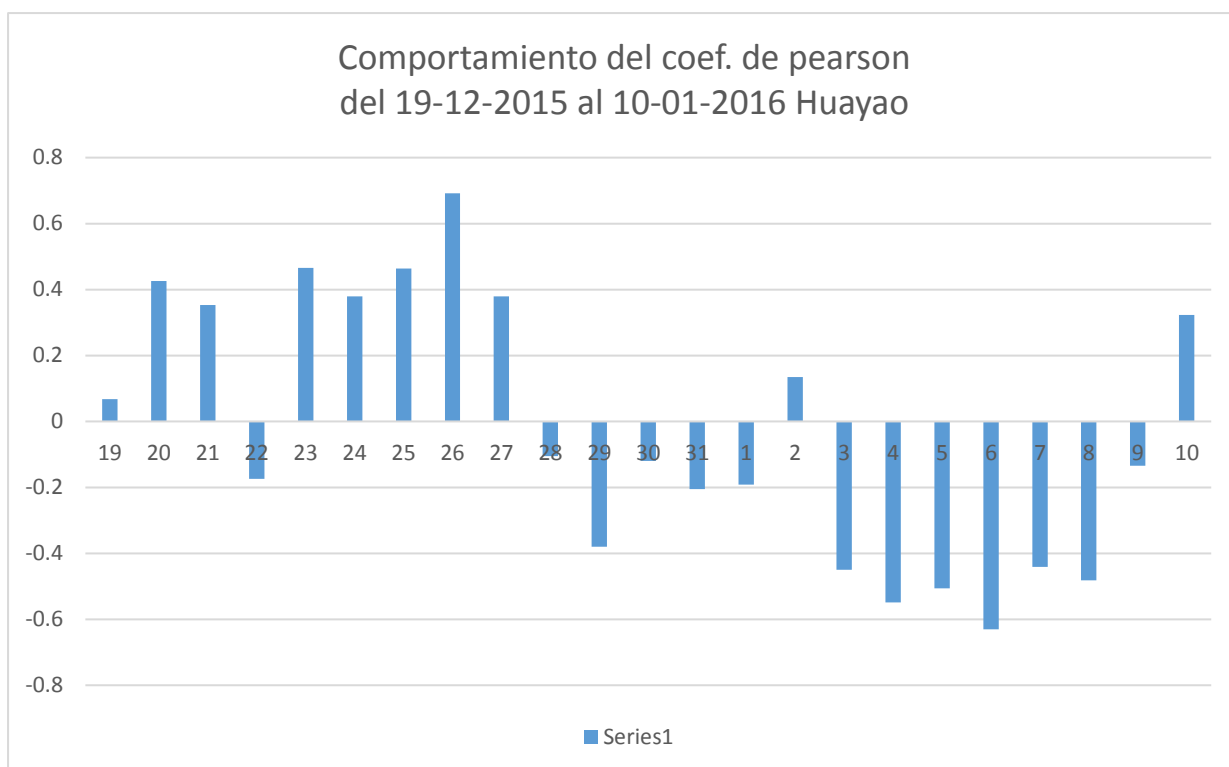
Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Huayao, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 48, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 34.9 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.



**Tabla 46** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Huayao

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 73** Coeficiente de Pearson de la Estación Huayao

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Huayao usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 73, de los 23 días de pronóstico se observa un solo día de buena correlación que es el 26 de diciembre 2015, siendo el valor próximo a 0,7 de la correlación.

### 5.1.20 Pilchaca

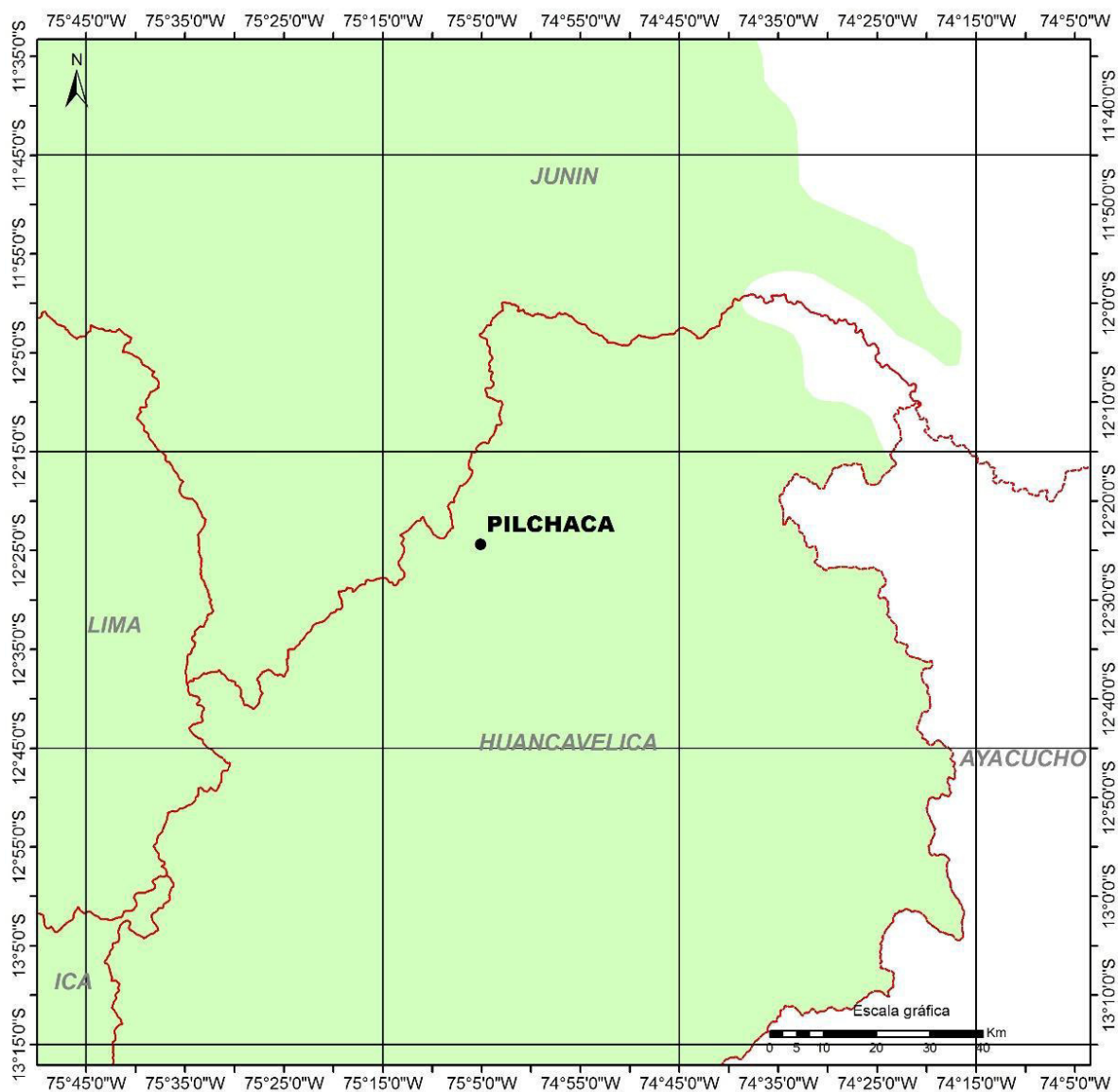
La estación Pilchaca, está a una altura de 3650 msnm y se encuentra ubicada en el departamento de Huancavelica, provincia de Pilchaca, distrito de Pilchaca, en la sierra central, vertiente oriental, como se muestra en la figura 73. Se tiene sus normales mensuales para diciembre 91mm/mes y enero 125 mm/mes, así mismo muestra los umbrales de precipitación diaria para la estación Pilchaca, en la tabla 47.

**Tabla 47** *Umbrales de precipitación de la Estación Pilchaca.*

Umbrales de Precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados entre 1981-2010
<b>RR/día &gt; 99p</b>	Extremadamente lluvioso	RR > 29.0
<b>95p &lt;RR/día &lt;=99p</b>	Muy lluvioso	19.3 < RR <= 29.0
<b>90p &lt;RR/día &lt;=95p</b>	Lluvioso	14.9 < RR <= 19.3
<b>75p &lt;RR/día &lt;= 90p</b>	Moderadamente lluvioso	9.3 < RR <= 14.9

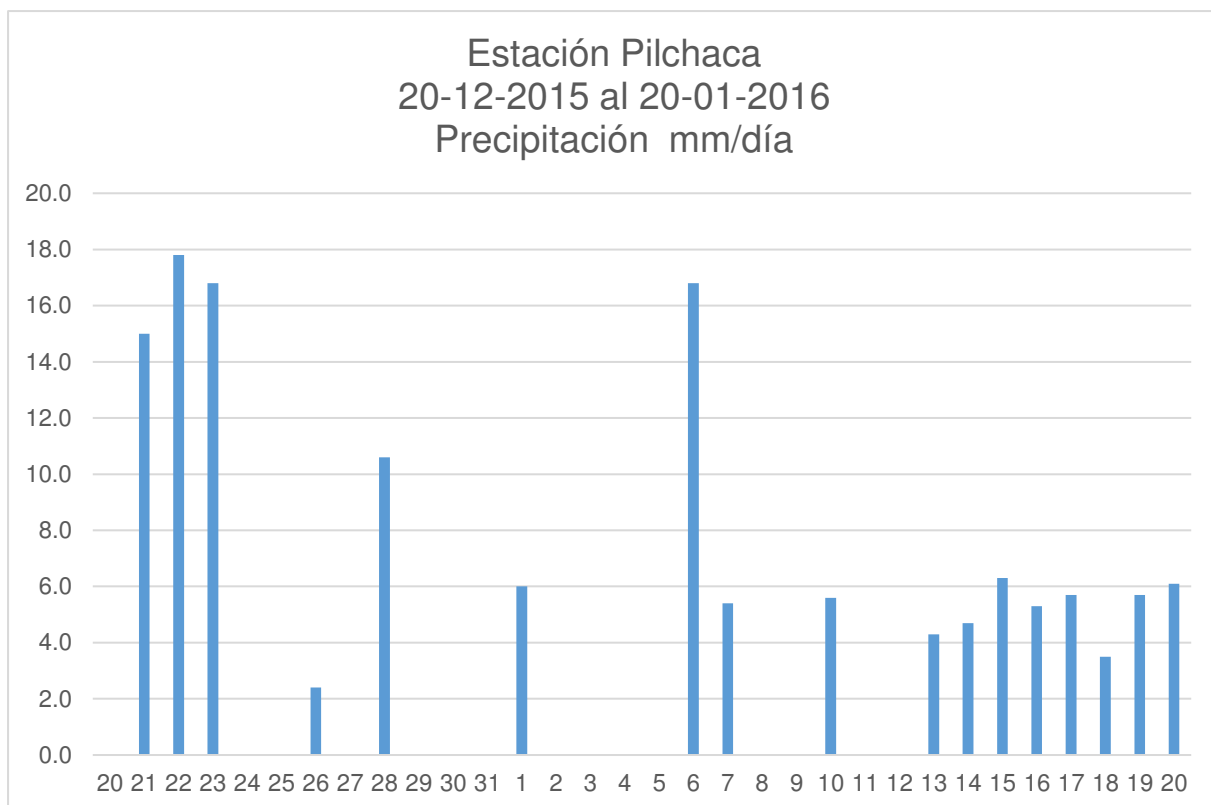
Fuente: Elaboración Propia

En el periodo de análisis, de la estación Pilchaca, que se muestra en la figura 74, se han registrado 17 días con precipitación y se han registrado cinco (5) días con lluvias dentro los umbrales precipitación diaria; moderadamente lluviosos (28 de diciembre 2015) y lluvioso (21, 22 y 23 de diciembre 2015, 6 de enero 2016),



**Figura 74** Muestra la estación convencional Pilchaca en la sierra norte, dentro de la grilla del modelo GFS de 0.5 grados.

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 75** Muestra la precipitación diaria de la estación Pilchaca

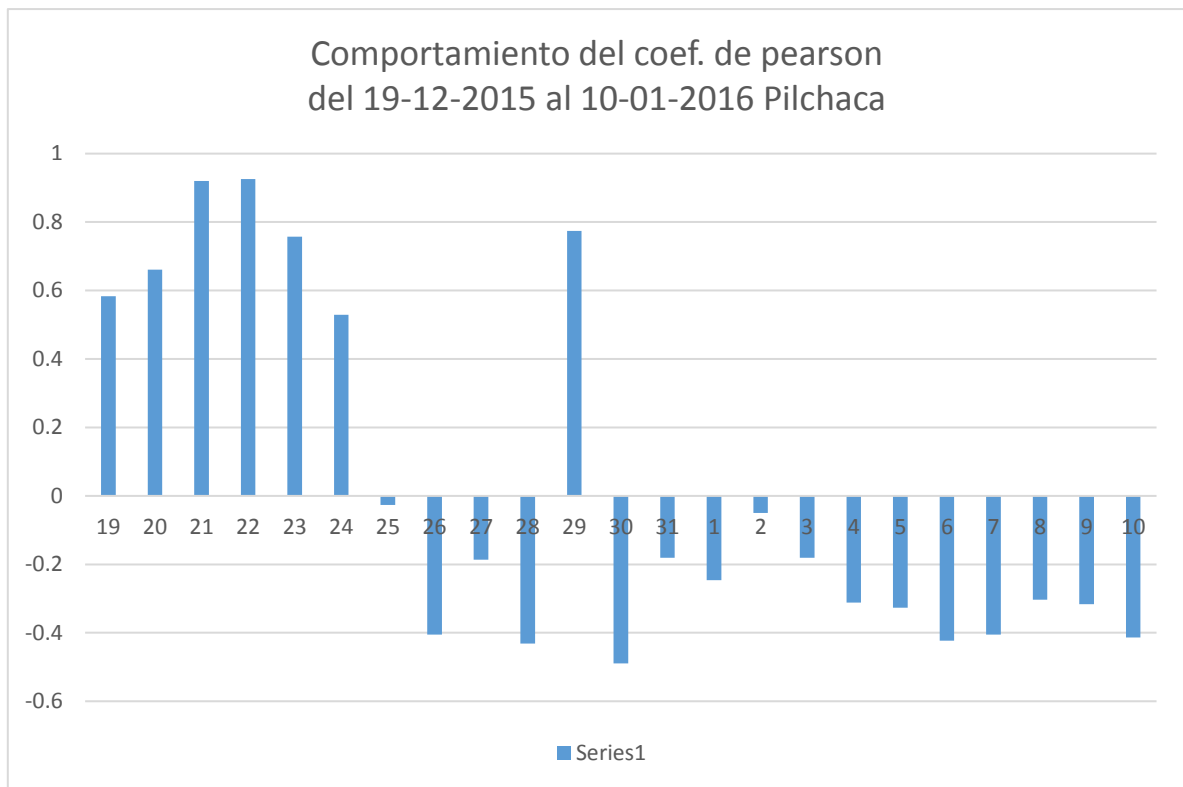
Fuente: Elaboración Propia

Los datos de precipitación pronosticados desde el 19 de diciembre 2015 al 10 de enero 2016, con el modelo GFS de 0,5 grados de resolución versus los valores de la estación meteorológica Pilchaca, del 20 de diciembre 2015 al 20 de enero de 2016, como se muestran en la tabla 48, se observa valores pronosticados de precipitación altos hasta de 34.9 mm/día, el 29 de diciembre 2015 el pronóstico de precipitación se observa que incompleto.

**Tabla 48** Datos pronosticados de precipitación en la Estación Pilchaca.

[illegible]

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 76** Coeficiente de Pearson de la Estación Pilchaca.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos de los pronósticos diarios de precipitación del modelo GFS de 0,5 grados de resolución, con los datos de la estación convencional Pilchaca usando el Coeficiente de Pearson se muestra en la figura 76, de los 23 días de pronóstico se observa que tres (03) días muestra muy buena correlación que son 21, 22 y 29 de diciembre 2015, siendo los tres con valores mayores a 0,7 de correlación.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el periodo de análisis del 20 de diciembre de 2015 al 20 de enero de 2016, el registro de precipitaciones de las estaciones convencionales del SENAMHI, donde se observa mayor frecuencia de días con precipitación en la vertiente occidental en la sierra norte y en la vertiente oriental de la sierra central, de acuerdo a los percentiles se han registrado precipitaciones en las estaciones convencionales, caracterizadas como muy lluviosos en cuatro (04) días, en la sierra norte y cinco (05) días, en la sierra sur y Extremadamente lluviosos sólo un registro para ambos (norte y centro), en las estaciones Bambamarca y Yanahuaca, considerando, que para la sierra central se presentó durante un período de precipitaciones de tres días consecutivos y en la sierra norte sólo fue un episodio de precipitación intensa.

La estación Huarmaca no presenta precipitaciones para el inicio del análisis, la estación Salala presenta precipitaciones ligeras inferiores a 5,0 mm/día, ambas para mismo periodo, estas estaciones pertenecen a la sierra de Piura y considerando que se ha tenido que la Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Central valores muy por encima de sus condiciones normales considerado como un Fenómeno El Niño de características fuertes a intensas, las precipitaciones que deberían presentarse en la costa y sierra de Piura deberían ser extraordinarias según los registros de eventos pasados con similares características de la Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Central, en el periodo de análisis se presentaron condiciones secas que son producto del comportamiento de la alta y media atmósfera, es decir se formó un patrón subcidente que impidió la formación de nubosidad convectiva (nubes de lluvias) en la costa y sierra de Piura.

**Validar el modelo GFS, de 0.5 grados de resolución, para la precipitación cuantificada en la sierra norte y central del Perú.**

### **Sierra norte**

Para la sierra norte en la vertiente oriental tenemos las estaciones meteorológicas de Bambamarca, Cajabamba, Celendín y Chota en Cajamarca y Jazan en Amazonas, donde se ha registrado 4 valores mayores a 0,6 de la correlación del Coeficiente de Pearson, así mismo en la vertiente occidental tenemos las estaciones meteorológicas



de Huarmaca, Salala en Piura, Cospan y Llama en Cajamarca y Cachicadan y Salpo en La Libertad, donde se han registrado 14 valores mayores a 0,6 de la correlación del Coeficiente de Pearson, por lo tanto se observa mejores resultados para la vertiente occidental, teniendo en cuenta que el resultado es relevante por la diferencia de valores.

### **Sierra central**

Para la sierra central en la vertiente oriental tenemos las estaciones meteorológicas de Sihuas y Chavin en Ancash, Jacas Chico en Huánuco, Yanahuaca en Pasco, Huayao en Junín y Pilchaca en Huancavelica, donde se han registrado 6 valores mayores a 0,6 de la correlación del Coeficiente de Pearson, así mismo en la vertiente occidental tenemos las estaciones meteorológicas de Chiquian en Ancash, Yauyos en Lima y La Oroya en Junín, donde se han registrado 4 valores mayores a 0,6 de la correlación del Coeficiente de Pearson, por lo tanto se observa mejores resultados para la vertiente oriental, siendo un resultado no significativo por la poca diferencia.

### **Instaurar modelo GFS de 0.5 de resolución de precipitaciones, para mejorar el pronóstico a corto plazo**

Los pronósticos de precipitaciones cuantificadas del modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial que se obtuvieron desde el 19 de diciembre 2015 hasta el 10 de enero de 2016, pronosticados hasta el 20 de enero de 2016 y con los datos de las estaciones meteorológicas convencionales, muestran para la sierra norte 16 valores y para la sierra central 12 valores, mayores a 0,6 de la correlación del Coeficiente de Pearson, para instaurar el modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial, para el pronóstico operativo de precipitaciones cuantificadas para la sierra norte y central.

## CONCLUSIONES

Dentro el periodo de análisis se observó en los datos de las estaciones convencionales del SENAMHI, mayor frecuencia de precipitación en la vertiente occidental de la sierra norte, así mismo en la vertiente oriental de la sierra central, teniendo dentro del periodo de análisis un solo episodio de precipitación catalogada como extremadamente lluvioso en la sierra norte y central, en general se tuvieron precipitaciones catalogadas de ligera intensidad. Además, se observa mejores resultados en la sierra norte en especial en la vertiente occidental y en el Pacífico Central, se presentaba un calentamiento de la Temperatura Superficial del Mar, con valores sobre lo normal, es decir se tenía un episodio de El Niño de características fuertes a intensas, históricamente con gran cantidad de humedad en la atmosfera relacionada con el calentamiento del mar, que favorecen a las precipitaciones intensas (extremadamente lluvioso), el modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial no mostraba en sus pronósticos de precipitaciones de estas características para la sierra de norte en especial en el departamento de Piura y si muestra patrones sinópticos subcidentes coherente con el pronóstico deficitario de precipitaciones en la sierra norte, es decir coherente con los datos mostrados.

Con los resultados obtenidos para Validar el modelo GFS de 0,5 grados de resolución para el pronóstico cuantificado de precipitaciones, para la sierra norte donde se han obtenido, 14 y 6 valores mayores a 0,6 en la vertiente occidental y oriental respectivamente y para la sierra central se obtuvieron 4 y 6 valores mayores a 0,6 para la vertiente occidental y oriental respectivamente, por lo tanto en la vertiente occidental de la sierra norte se obtuvieron los mejores resultados considerando un episodio de El Niño de características fuertes a intensas y para la sierra central no se obtuvieron los resultados esperados teniendo en cuenta la menor influencia de la Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Central.

De acuerdo a lo datos obtenidos donde muestra mejores resultados para la sierra norte en ambas vertientes por tener resultados la mayor cantidad de valores por

encima de 0,7 de la correlación del Coeficiente de Pearson y teniendo en cuenta que dentro del periodo de análisis en el Pacífico Central se tenía el fenómeno de El Niño de características fuertes a intensas, se observa que el modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial para el pronóstico cuantificado de lluvias tiene un buen comportamiento, por lo tanto es posible instaurar el modelo para el pronóstico cuantificado de lluvias en la sierra norte, sin embargo la cantidad de aciertos debería ser mayor, pero con las características térmicas en general anómalas positivas en casi todas las latitudes ecuatoriales, es decir con mayor inestabilidad, se observó que el modelo GFS de 0,5 grados de resolución espacial respondió adecuadamente, en la sierra central no se obtuvieron los resultados concluyentes por lo tanto no se puede instaurar el pronóstico cuantificado de lluvias

## **RECOMENDACIONES**

Se ha presentado en el periodo de análisis fenómeno El Niño de características fuertes a intensas, es decir la Temperatura Superficial del Mar ha tenido valores sobre lo normal hasta en 2.6 en promedio de los meses noviembre, diciembre y enero, favoreciendo la mayor presencia de humedad en la atmosfera, en general en toda la costa norte, con estas características se sugiere hacer un mejor estudio termodinámico de toda la capa de la atmosfera con datos reales de preferencia de radio sondeo.

Los resultados muestran condiciones secas y el modelo en general refleja estas condiciones, pero no se ve una respuesta adecuada en los resultados de los pronósticos de la precipitación cuantificada, por lo tanto, se sugiere que se realice una comparación no con valores si no con eventos de precipitación donde se tendría un mejor resultado y serviría para el pronóstico operativo, se validaría con otra correlación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Abbe C. 1901 The Physical Basic Of Long-Range Weather Forecats

Alfaro L. 2014 Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas para la emisión de Avisos Meteorológicos.

Avalos G. 2009. Evaluación del Modelo ETA/SENAMHI en la previsión de la precipitación durante los periodos lluviosos 2002 y 2003.

Bjerknes V. 1904. The problema of weather prediction considered from the viewpoints of mechanics and physics

Dorman J. L. Sellers P. J. 1988. A Global Climatology of Albedo, Roughness Length and Stomatal Resistance for Atmoospheric General Circulation Models as Represented by Simple Biosphere Model

Jauregui E. 1985 Distribución del Vapor Agua Precipitable en México. Revista Geofísica Vol. 25-2, 1986, pp353-359.

Fedorova N. 2008. Sinotica IV Sistemas e procesos sinoticos atuantes na America do Sul. Editorial UFAL.

Gilford, M; et al. 1992. South America South of the Amazon River: A Climatological Stud.

Kalnay E. Kanamitsu M. 1999 Global Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center

Kalnay, Eugenia 2003. Atmospheric modeling data assimilation and predictability

- Lenters J. D. Cook K.H. 1997. On the Origin of the Bolivian High and Related Circulation Features of the South American Climate. Journal of the Atmospheric Sciences.
- Lorenc A. C. 1985. Analysis methods for numerical weather prediction
- Lynch P. 2002 Weather Forecasting From Woolly Art to Solid science
- Lynch P. 2013 The origins of computer weather prediction and climate modeling
- Lynch, Peter 2006 The origins of computer weather prediction and clima modeling
- Platzman G. 1979 The ENIAC Computation of 1950 Gateway to Numerical Weather Prediction.
- Ramírez V. 2009 Relación entre el Índice Oceánico de el Niño y la lluvia, en la Región Andina Central de Colombia.
- Reynolds R. Smith T. 1994. Improved Global Sea Surface Temperature Analyses Using Optimun Interpolation.
- Romero Pedro, Cuevas Emilio, Ramos Ramón, Valdés Marcelino, Schneider Matthias, 2009. Programa de vapor de agua en la columna del Centro de Investigación Atmosférica de Izaña: Análisis e Intercomparación de diferencias técnicas de medida.
- Satyamurty, P. Nobre, C. and Silva Dias, P.1998. South America Chaper 3C. Meteorology of the Southern Hemisphere. Edt David J. Karoly.
- SENAMHI 2016. Periodos secos y húmedos en la vertiente occidental de los Andes peruanos. De: <https://www.senamhi.gob.pe/usr/dcl/informe006-dma.pdf>
- Shuman F. History of Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center.

White P. W. 1971. Finite difference methods in numerical weather prediction.

Wiin Nielsen A. 1990. The birth of numerical weather prediction

Willis E. Hooke W. 2006. Cleveland Abbe And American Meteorology 1871-1901

Woodman, R. 1999: Modelo estadístico de pronóstico de las precipitaciones en la costa norte del Perú. El Fenómeno El Niño

Young-Joon K. Arakawa 1998 A. Improvement of Orographic Gravity Wave Parameterization Using a Mesoscale Gravity Wave Model.

“Selección de Canales del GOES versión 2”, (2012). <https://www.meted.ucar.edu/>

“Cold & War episodes by Season ONI”

[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

“Qué es el ENFEN” Instituto del Mar del Perú. (IMARPE-2012).

[http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/noticia/imarpe\\_notic\\_generali\\_enfen\\_prensafeb12.pdf](http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/noticia/imarpe_notic_generali_enfen_prensafeb12.pdf)